

Untersuchung von Rehgeweihen mittels Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie

von Sebastian Josef Sarter

Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde
der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München

**Untersuchung von Rehgeweihen mittels Dualenergie-
Röntgenabsorptiometrie**

von Sebastian Josef Sarter
aus Grevenbroich

München 2021

Aus dem Lehr- und Versuchsgut der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Arbeit angefertigt unter der Leitung von
Prof. Dr. Armin M. Scholz

**Gedruckt mit der Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München**

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Reinhard K. Straubinger, Ph.D

Berichterstatter: Prof. Dr. Armin M. Scholz

Korreferenten: Priv.-Doz. Dr. Petra Kölle

Tag der Promotion: 17.07.2021

Für meine Familie und Lisa

INHALTSVERZEICHNIS

I.	EINLEITUNG	1
II.	LITERATURÜBERSICHT	3
1.	Das Europäische Reh.....	3
1.1.	Verbreitung und Taxonomie	3
1.2.	Lebensweise und Lebensräume	5
1.3.	Ernährungsweise	9
1.3.1.	Nahrungsspektrum und -bedarf	9
1.3.2.	Ernährungsstrategie der Konzentratsselektierer	9
1.4.	Reproduktion	14
1.4.1.	Reproduktionszyklus und Trächtigkeit	14
1.4.2.	Reproduktionsstrategie der Ertragszüchter	15
1.5.	Die Körpermasse des Rehs	18
1.5.1.	Wachstum und saisonale Schwankungen	18
1.5.2.	Einflüsse auf die Körpermasse	20
1.6.	Das Geweih des Rehbocks.....	24
1.6.1.	Geweihe allgemein	24
1.6.2.	Funktion des Geweihs.....	25
1.6.3.	Jahreszyklus und hormonelle Steuerung des Geweihwachstums	26
1.6.4.	Wachstum und Aufbau	29
1.6.5.	Zusammensetzung, Mineralisierung und Dichte	32
1.6.6.	Bisher verwendete Indikatoren der Geweihbewertung.....	34
1.6.7.	Einflüsse auf das Geweihwachstum und die Geweihqualität	35
2.	Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie (DXA)	40
2.1.	Aufbau eines DXA-Gerätes	40
2.2.	Funktionsweise	41
2.3.	Bisherige Anwendung bei Cerviden	43
III.	MATERIAL UND METHODEN.....	45
1.	Versuch 1 - DXA-Geweihscan	45
1.1.	Einteilung der Geweihe in Alters- und Revierklassen.....	45
1.2.	Präparation der frischen Geweihe.....	48
1.3.	Einstellung und Lagerung für den Geweihscan	49

1.4.	Auswertung der Geweihscans.....	51
2.	Versuch 2 - Ganzkörperscan	52
2.1.	Ausweiden	53
2.2.	Einstellung und Lagerung für den Ganzkörperscan	53
2.3.	Auswertung der Ganzkörperscans	54
3.	Statistische Datenanalyse	55
3.1.	Einteilung der Modelle für Versuch 1	56
3.2.	Modell für Versuch 2	57
IV.	ERGEBNISSE.....	59
1.	Ergebnisse Versuch 1 - Geweihscan.....	59
1.1.	Ergebnisse Modell A	59
1.1.1.	Einfluss der Altersklasse.....	59
1.1.2.	Einfluss der Revierklassen.....	62
1.2.	Ergebnisse Modell B.....	66
1.2.1.	Einfluss des Vorhandenseins von Bast auf die Jährlingsgeweihe	66
1.2.2.	Einfluss der Revierklasse auf die Jährlingsgeweihe	68
2.	Ergebnisse Versuch 2.....	73
2.1.	Verteilung der Körpermasse (ausgeweidet).....	73
3.	Beziehungen zwischen den Merkmalen	75
3.1.	Beziehungen zwischen frischen und präparierten Geweihen	75
3.2.	Beziehungen zwischen DXA-Messwerten und der Körpermasse (ausgeweidet).....	79
V.	DISKUSSION.....	83
1.	Versuchsmaterial	83
1.1.	Versuch 1 - Geweihscan	83
1.1.1.	Einteilung in Revierklassen	83
1.1.2.	Einteilung in Altersklassen	85
1.1.3.	Bastgeweihe	86
1.2.	Versuch 2 - Ganzkörperscan.....	87
1.2.1.	Altersschätzung.....	87
2.	Methodik.....	88
2.1.	Versuch 1 - Geweihscan	88

2.1.1.	Präparation	88
2.1.2.	Messung der Knochenmineraldichte von Geweihen mittels DXA.....	88
2.1.3.	BMD und BMC des Geweihs als Merkmale der individuellen Kondition	92
2.2.	Versuch 2 - Ganzkörperscan.....	94
2.2.1.	Verwendung von DXA zur Ermittlung der Körpermasse	94
3.	Ergebnisse.....	95
3.1.	Versuch 1	95
3.1.1.	Einfluss der Altersklasse.....	95
3.1.2.	Einfluss des Waldanteils	97
3.1.2.1.	Ergebnisse Modell A	98
3.1.2.2.	Ergebnisse Modell B (nur Jährlingsgeweihe)	100
3.1.3.	Einfluss des Vorhandenseins von Bast	101
3.2.	Versuch 2	102
VI.	ZUSAMMENFASSUNG	103
VII.	SUMMARY	105
VIII.	ANHANG.....	107
IX.	LITERATURVERZEICHNIS.....	109
X.	DANKSAGUNG.....	123

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

Abb.	Abbildung
Al	Aluminium
BMC	Bone Mineral Content (Knochenmineralgehalt)
BMD	Bone Mineral Density (Knochenmineraldichte)
Ca	Calcium
ca.	circa
Cr	Chrom
DXA	Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie
etc.	et cetera
Fe	Eisen
ha	Hektar
K	Kalium
Kap.	Kapitel
kV	Kilovolt
Li	Lithium
mA	Milliampere
Mg	Magnesium
Mn	Mangan
Na	Natrium
P	Phosphor
R^2	Bestimmtheitsmaß
ROI	Region of Interest (interessierende Region)
RMSE	Root Means Squares Error (Wurzel aus dem Restfehler)
S	Schwefel
Sr	Strontium
Tab.	Tabelle
Tl	Thallium
Zn	Zink

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Systematische Einordnung des Europäischen Rehs; modifiziert nach Stubbe (2008) und Hewison und Danilkin (2001).....	3
Abbildung 2: Verbreitung des Europäischen Rehs nach The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2019-2; orange = aktuelles Verbreitungsgebiet, rot = ausgerottet.....	4
Abbildung 3: Entwicklung der Rehwildstrecken in Deutschland von 1998/1999 bis 2018/2019; modifiziert nach Deutscher Jagdverband e.V. 2020.....	5
Abbildung 4: Rehe äsen in unmittelbarer Nähe zu Siedlungsbereichen; © A.M. Scholz	7
Abbildung 5: Europäische Wiederkäuer eingeordnet nach Ernährungstypen; modifiziert nach (Hofmann 1989)	10
Abbildung 6: Morphophysiologische Merkmale der Konzentratselektierer gegenüber den Raufutterfressern am Beispiel Reh; modifiziert nach Hofmann (1989)	11
Abbildung 7: Darstellung der Geweih Typen; v. l. n. r. Knopfbock, Spieß, Gabler und Sechser.....	25
Abbildung 8: Geiß mit Knopfbock-Kitz, Oktober 2018; © A.M. Scholz.....	27
Abbildung 9: Bockkitz im ersten Lebensjahr mit kurzen Spießern - schon gefegt, September 2013; © A.M. Scholz.....	28
Abbildung 10: Bock im Bast, Februar 2021.....	30
Abbildung 11: GE Lunar iDXA-Gerät im Lehr- und Versuchsgut Oberschleißheim	40
Abbildung 12: Drei-Komponenten Modell der Körperzusammensetzung für DXA-Untersuchungen (Fettgewebe, Magerweichgewebe und Knochengewebe); modifiziert nach (Scholz et al. 2002)	41
Abbildung 13: Verteilung der Altersklassen aller untersuchten Geweihe für Modell A	46
Abbildung 14: Verteilung der Revierklassen aller untersuchten Geweihe für Modell A	47
Abbildung 15: Verteilung der Revierklassen der Jährlingsgeweihe für Modell B ..	48
Abbildung 16: Fertige Trophäe nach Präparation	49
Abbildung 17: Einstellung des DXA-Scanners für die Geweihmessung.....	49
Abbildung 18: Lagerung der Geweihe auf dem iDXA-Scanner	50
Abbildung 19: Ergebnisbild des Geweihscans und Lokalisation der interessierenden	

Regionen (ROI [1], ROI [2] und ROI [3]).....	51
Abbildung 20: Einstellung des DXA-Scanners für die Ganzkörpermessung	53
Abbildung 21: Positionierung der ausgeweideten Rehwildkörper auf dem DXA-Scanner	54
Abbildung 22: Ergebnisbild des Ganzkörperscans und Lokalisation der interessierenden Region (ROI [1]).....	55
Abbildung 23: Einfluss der Altersklasse auf die Schätzwerte von BMD im Rehgeweih für Modell A	61
Abbildung 24: Einfluss der Altersklasse auf die Schätzwerte von BMC des Messbereichs ROI [1] im Rehgeweih für Modell A.....	61
Abbildung 25: Einfluss der Altersklasse auf die Schätzwerte von BMC der Messbereiche ROI [2] und ROI [3] im Rehgeweih für Modell A.....	62
Abbildung 26: Einfluss der Revierklasse auf die Schätzwerte von BMD im Rehgeweih für Modell A	64
Abbildung 27: Einfluss der Revierklasse auf die Schätzwerte von BMC des Messbereichs ROI [1] im Rehgeweih für Modell A.....	64
Abbildung 28: Einfluss der Revierklasse auf die Schätzwerte von BMC der Messbereiche ROI [2] und ROI [3] im Rehgeweih für Modell A	65
Abbildung 29: Einfluss des Vorhandenseins von Bast auf die Schätzwerte von BMD im Rehgeweih für Modell B	67
Abbildung 30: Einfluss des Vorhandenseins von Bast auf die Schätzwerte von BMC des Messbereichs ROI [1] im Rehgeweih für Modell B.....	67
Abbildung 31: Einfluss des Vorhandenseins von Bast auf die Schätzwerte von BMC der Messbereiche ROI [2] und ROI [3] im Rehgeweih für Modell B	68
Abbildung 32: Einfluss der Revierklasse auf die Schätzwerte von BMD im Rehgeweih für Modell B (nur Jährlingsgeweihe).....	69
Abbildung 33: Einfluss der Revierklasse auf die Schätzwerte von BMC des Messbereichs ROI [1] im Rehgeweih für Modell B (nur Jährlingsgeweihe)	70
Abbildung 34: Einfluss der Revierklasse auf die Schätzwerte von BMC der Messbereiche ROI [2] und ROI [3] im Rehgeweih für Modell B (nur Jährlingsgeweihe)	70
Abbildung 35: Verteilung der mittels DXA bestimmten Körpermassen (nach dem Ausweiden in der Decke mit Haupt)	73
Abbildung 36: Verteilung aller vorliegender Rehbock-Körpermassen (ausgeweidet) einschließlich der von den Jägern übermittelten Werte.....	74

Abbildung 37: Beziehung der mittels DXA gemessenen Körpermassen (ausgeweitet) zum geschätzten Alter	74
Abbildung 38: Beziehung der Rehbock-Körpermassen (ausgeweitet) einschließlich der von den Jägern übermittelten Werte zum Alter	75
Abbildung 39: Beziehung zwischen BMD_f_k und BMD_p_k	76
Abbildung 40: Beziehung zwischen BMC_f_k und BMC_p_k	76
Abbildung 41: Beziehung zwischen BMD_f_r und BMD_p_r	77
Abbildung 42: Beziehung zwischen BMC_f_r und BMC_p_r	77
Abbildung 43: Beziehung zwischen BMD_f_l und BMD_p_l	78
Abbildung 44: Beziehung zwischen BMC_p_l und BMC_f_l	79
Abbildung 45: Beziehung zwischen Körpermasse und BMD_p_k	80
Abbildung 46: Beziehung zwischen Körpermasse und BMC_p_k	80
Abbildung 47: Beziehung zwischen Körpermasse und BMD_p_m	81
Abbildung 48: Beziehung zwischen Körpermasse und BMC_p_m	81
Abbildung 49: Rehwild im heckenreichen Revierteil des Lehr- und Versuchsgutes Oberschleißheim (Der größere Anteil der Rehe ruht an oder in der Hecke im Hintergrund -speziell links im Bild); © A.M. Scholz	84
Abbildung 50: Bock im Bast (links) und Bock bereits gefegt (rechts); (Revier Lehr- und Versuchsgut Oberschleißheim); © A.M. Scholz	86
Abbildung 51: Mögliche Überlagerungen durch Vorder- und Hintersprosse beim DXA-Geweihscan (im Bild rot markiert)	90
Abbildung 52: Vergleich des gemessenen Geweihquerschnitts zwischen Geweihen mit großem und kleinem Durchmesser	91
Abbildung 53: Territorialstreit im „Bockrevier“ - Februar 2014, Oberlausitz; © A.M. Scholz	97

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Mineralprofile von Geweihen ausgewachsener Böcke am Beispiel einer freilebenden Population aus Tschechien; modifiziert nach Cappelli et al. (2020)	33
Tabelle 2: Anzahl der Geweihe je nach Revier und Verteilung nach Revier- und Altersklassen.....	46
Tabelle 3: Herkunft und Anzahl der Jährlingsgeweihe je nach Revier und Anteil der Bastgeweihe	47
Tabelle 4: Anzahl der analysierten Rehbockkörper (nach dem Ausweiden) nach Herkunft und geschätztem Alter	52
Tabelle 5: Varianzanalysen für den Effekt der Altersklasse auf die einzelnen Merkmale für Modell A.....	60
Tabelle 6: Varianzanalysen für den Effekt der Revierklasse auf die einzelnen Merkmale für Modell A.....	63
Tabelle 7: Varianzanalysen für den Effekt der des Vorhandenseins von Bast auf die einzelnen Merkmale für Modell B (nur Jährlingsgeweihe)	66
Tabelle 8: Varianzanalysen für den Effekt der Revierklasse auf die einzelnen Merkmale für Modell B (nur Jährlingsgeweihe)	68
Tabelle 9: Übersichtstabelle zu den Ergebnissen der Varianzanalysen für die Modelle A und B.....	72
Tabelle 10: Deskriptive Statistik zur DXA-Ganzkörperanalyse der ausgeweideten Rehböcke	73
Tabelle 11: Varianzanalysen für den Effekt der Altersklasse (Jährling, älter als ein Jahr) auf die einzelnen Merkmale des Gesamtkörperscans für Modell C nach F-Test	107
Tabelle 12: Einfluss der Altersklasse auf den prozentualen Fettanteil des DXA-Gesamtkörperscans für das Modell C nach t-Test.....	107
Tabelle 13: Einfluss der Altersklasse auf den Fettgehalt des DXA-Gesamtkörperscans für das Modell C	107
Tabelle 14: Einfluss der Altersklasse auf den Magerweichgewebegehalt des DXA-Gesamtkörperscans für das Modell C.....	107
Tabelle 15: Einfluss der Altersklasse auf die Knochenmineraldichte BMD_gk des DXA-Gesamtkörperscans für das Modell C.....	108
Tabelle 16: Einfluss der Altersklasse auf den Knochenmineralgehalt BMC_gk des DXA-Gesamtkörperscans für das Modell C.....	108

I. EINLEITUNG

Das Europäische Reh (*Capreolus capreolus*) ist die am häufigsten erlegte Wildart in Deutschland und ist das Wild mit dem zweitstärksten Wildbretaufkommen nach dem Schwarzwild. Das Interesse an der Jagd sowie die Zahl der Jagdscheininhaber steigt in Deutschland seit Jahren generationsübergreifend. Damit erhöht sich neben der ökologischen auch die gesellschaftliche Bedeutung des Europäischen Rehs (Deutscher Jagdverband e.V. 2020).

Das Geweih und seine Präparation als Trophäe der Jagd auf das Europäische Reh ist für die Jagdtradition von großer Bedeutung (Stubbe 2008). In letzter Zeit beschäftigen sich viele Studien mit der Untersuchung der Geweihqualität als Indikator der Gesundheit von Individuen und ganzen Populationen (Vanpé et al. 2007; Cappelli et al. 2020). Dabei spielt auch die Ermittlung der Knochenmineralisierung bzw. des Mineralgehalts eine große Rolle. Zur Ermittlung dieser Merkmale finden sich in der Literatur jedoch ausschließlich Studien, bei denen die Trophäe zerstört werden musste, um Proben für die Untersuchung zu gewinnen (Brockstedt-Rasmussen et al. 1987; Cappelli et al. 2020).

Die Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie (DXA) ist eine innerhalb der letzten 20 Jahre verstärkt genutzte Technologie zur Ermittlung der Knochenmineralisierung, die besonders in der Osteoporoseforschung bzw. -diagnose Anwendung findet (Laskey und Phil 1996; Ryan 1997). Die Nutzung dieser nicht-destruktiven Methodik am knöchernen Organ Geweih liegt somit nahe. Einzig Landete-Castillejos et al. (2010) haben Versuche mit DXA an den Geweihen von Rothirschen (*Cervus elaphus*) durchgeführt. Jedoch wurden die Geweihe auch für diese Studie zwecks Probengewinnung zerstört.

In mehreren Studien wurde gezeigt, dass ein steigendes Alter von Rehböcken positiv mit der Geweihgröße (Vanpé et al. 2007; Wajdzik et al. 2016) und der Geweihmasse (Wajdzik et al. 2016) einhergeht. Gleichzeitig ist beschrieben, dass Geweihe während des Wachstums unter der Basthaut im Vergleich zu gefegten fertigen Geweihen eine erhöhte Porosität aufweisen (Brockstedt-Rasmussen et al. 1987). In weiteren Studien konnte ein negativer Einfluss eines hohen Waldanteils im Lebensraum von Rehen auf die Größe und das Gewicht von Geweihen gezeigt werden (Wajdzik et al. 2016; Czyżowski et al. 2018). Ziel dieser Arbeit ist die erstmalige Untersuchung von Geweihen des Europäischen Rehs mittels DXA. Es

soll ermittelt werden, ob sich die bisher erhobenen Beobachtungen der Einflüsse von Alter, Bast und Waldanteil auch in den Ergebnissen von DXA-Messungen in Form von Knochenmineraldichte und -gehalt widerspiegeln. Darüber hinaus soll die Eignung der DXA-Untersuchung als nicht-destruktive und zügige Methode zur Generierung von qualitativ hochwertigen Informationen über die Kondition von Individuen und ganzen Populationen überprüft werden.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden zudem erstmalig DXA-Ganzkörperscans von Rehbockkörpern nach dem Ausweiden (in der Decke und mit Haupt) durchgeführt.

II. LITERATURÜBERSICHT

1. Das Europäische Reh

1.1. Verbreitung und Taxonomie

Das Europäische Reh (*Capreolus capreolus* L. 1758) ist ein in Europa beheimateter wildlebender Wiederkäuer. Taxonomisch ist die Gattung Reh (*Capreolus*) in die Familie der Hirsche (*Cervidae*) und in die Subfamilie der Trughirsche (*Capreolinae* bzw. *Odocoileinae*) einzuordnen (Andersen et al. 1998). Traditionell werden das Europäische Reh und das in weiten Teilen Asiens verbreitete Sibirische Reh (*Capreolus pygargus* P. 1771) als zwei Unterarten einer gemeinsamen Art Reh (*Capreolus capreolus*) eingestuft (Stubbe 2008). Hewison und Danilkin (2001) beschäftigten sich mit der Korrektheit der traditionellen Systematik und fanden neben phänotypischen auch genetische Belege, die darauf schließen lassen, dass es sich um zwei zwar stammesgeschichtlich eng verwandte, jedoch verschiedene Arten handeln muss. Die zahlreichen Variationen des Europäischen Rehs selbst werden von einigen Autoren als Unterarten betrachtet (Royo et al. 2007; Aragon et al. 1998). Allgemein wird jedoch von einer monotypischen Art ausgegangen (Sempere et al. 1996). Eine umfassende nach den Erkenntnissen von Hewison und Danilkin (2001) aktualisierte systematische Einordnung findet sich in Abb. 1.

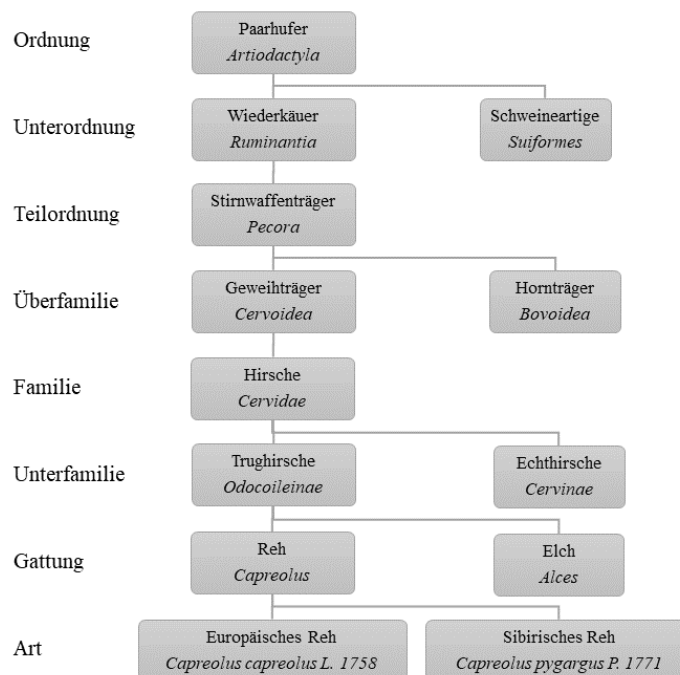


Abbildung 1: Systematische Einordnung des Europäischen Rehs; modifiziert nach Stubbe (2008) und Hewison und Danilkin (2001)

Das Europäische Reh ist in beinahe ganz Europa und in Teilen Vorderasiens verbreitet (siehe Abb. 2) und stellt innerhalb Europas den kleinsten und häufigsten Vertreter der Familie der Hirsche (*Cervidae*) dar (Burbaitè und Csányi 2009; Linnell und Zachos 2011). Im Folgenden ist mit Reh bzw. Rehwild das Europäische Reh gemeint.



Abbildung 2: Verbreitung des Europäischen Rehs nach The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2019-2; orange = aktuelles Verbreitungsgebiet, rot = ausgerottet

Nachdem die Rehpopulation in Europa im späten 19. und im frühen 20. Jahrhundert durch unkontrollierte Jagd gesunken war, stieg sie ab der Mitte des Jahrhunderts deutlich an, auch das Verbreitungsgebiet hat sich weiter ausgedehnt (Sempere et al. 1996; Andersen et al. 1998). Von 1984 bis heute wuchs die Population in Europa von schätzungsweise 6,2 auf 15 Millionen Tiere an, davon ca. vier Millionen in Deutschland (Burbaitè und Csányi 2009; The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2019-2). In Deutschland ist die Rehdichte pro km² von ca. 5,7 Tieren im Jahr 1984 auf ca. 8,9 Tiere im Jahr 2005 gestiegen (Burbaitè und Csányi 2009). Im Vergleich dazu betrug der europäische Durchschnitt 2005 nur ca. 2,2 Tiere pro km². Deutschland ist nicht nur das Land mit der größten Population, sondern auch mit der höchsten Populationsdichte (Burbaitè und Csányi 2009; The

IUCN Red List of Threatened Species. Version 2019-2).

Das Reh ist mit insgesamt über 1,2 Millionen erlegten Stücken (2018/2019) die am häufigsten erlegte Wildart in Deutschland (Deutscher Jagdverband e.V. 2020). Insgesamt stiegen die Strecken im Verlauf der letzte 20 Jahre deutlich an (siehe Abb. 3).

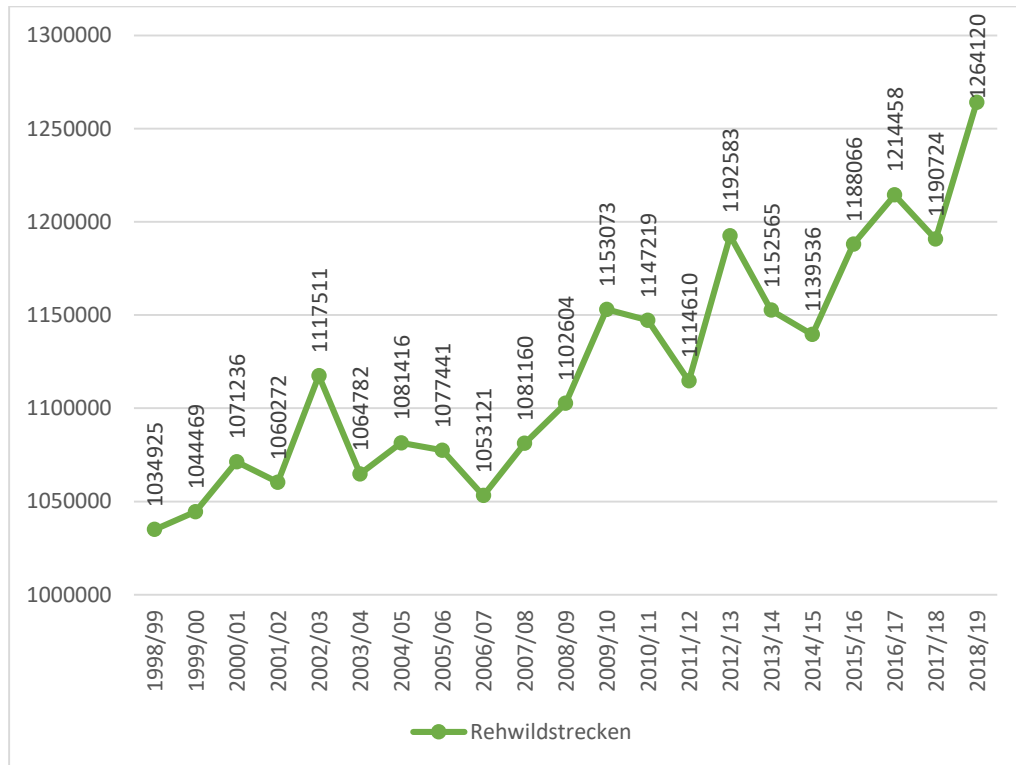


Abbildung 3: Entwicklung der Rehwildstrecken in Deutschland von 1998/1999 bis 2018/2019; modifiziert nach Deutscher Jagdverband e.V. 2020

Bezeichnungen aus der Waidmannssprache (Jägersprache) wie Rehwild (Rehe allgemein), Bock (männliches Reh), Geiß bzw. Ricke (weibliches Reh) und Kitz (junges Reh im ersten Lebensjahr) sind in der Bevölkerung weit verbreitet und finden auch in dieser Arbeit Anwendung. Die Paarungszeit der Rehe wird als Blattzeit bezeichnet, die Zeit der Geburt der Kitze wird Setzzeit genannt (Stubbe 2008).

1.2. Lebensweise und Lebensräume

Ein Reh bewohnt sesshaft und standorttreu einen relativ kleinen Lebensraum, welcher als Aktionsraum (engl. *homerange*) bezeichnet wird (Ellenberg 1978). Dessen Größe variiert je nach Landschaftstyp und Populationsdichte teilweise stark (Pettorelli et al. 2003; Stubbe 2008). Böcke und Geißen weisen ähnliche Aktionsraumgrößen auf, die Angaben variieren in der Literatur zwischen 8 und 225

ha bei Böcken und zwischen 22 und 247 ha bei Geißen (Stubbe 2008; Morellet et al. 2011).

Je nach Lebensraum und Nahrungsverfügbarkeit stellt sich eine konstante Populationsdichte in einem Gebiet ein, der Überschuss an Jungrehen wandert zumeist im Alter von einem Jahr aus ihrem Geburtsgebiet ab. In dem Aktionsraum, der mit einem Jahr ausgewählt wird, verbleiben die Tiere in der Regel für den Rest ihres Lebens (Ellenberg 1978).

In den Frühjahrs- und Sommermonaten bis zur Blattzeit leben Rehe zumeist als Einzelgänger oder in kleinen Familiengruppen von einer Geiß mit ihrem Nachwuchs. Die Böcke verteidigen ab dem Spätwinter bis zur Blattzeit Territorien. Im Winter schließen sich Tiere beider Geschlechter zu Sprüngen zusammen. In offenen waldarmen Regionen zeigen Feldrehe weniger starre Territorien und soziale Organisation. Die Sprünge können in offenen Lebensräumen bis zu 90 Tiere umfassen, während sie in Regionen sehr hohen Waldanteils nur selten aus 10 - 15 Tieren bestehen. In der Zeit, in denen die Tiere in Sprüngen leben, vergrößert sich ihr Aktionsraum deutlich. Während der Sommerzeit sind die Tiere weit verstreut, im Winter konzentrieren sich besonders Populationen in waldarmen Regionen in großer Zahl in den wenigen Gebieten mit Deckung und Winterfutter (Strandgaard 1972; Ellenberg 1978; Kurt et al. 1993).

Das Reh gilt klassischerweise als eine an das Waldleben angepasste Art, es hat sich jedoch wahrscheinlicher als Bewohner von Waldlichtungen und Waldrandzonen entwickelt (Hansson 1994; Lovari und San José 1997; Andersen et al. 1998; Morellet et al. 2011).

Im Laufe der Zeit konnte es durch seine Fähigkeit zur Anpassung viele weitere Lebensräume erschließen und kommt heute in fast allen natürlichen Lebensräumen Europas vor (Andersen et al. 1998). Die Spezies hat vom Eingreifen des Menschen in die natürlichen Ökosysteme profitiert und bewohnt abgesehen von unmittelbaren Siedlungsbereichen erfolgreich nahezu alle terrestrischen Lebensräume (Ellenberg 1978). Die Aktionsräume können dabei sehr nah an Siedlungsbereiche heranreichen (siehe Abb. 4).



Abbildung 4: Rehe äsen in unmittelbarer Nähe zu Siedlungsbereichen; © A.M. Scholz

Sie besiedeln Gebiete von Laub- und Nadelwäldern und fragmentierte Feld-Wald-Komplexe bis hin zu weitgehend baumlosen Feldmonokulturen (Cibien et al. 1989; Jepsen und Topping 2004; Morellet et al. 2011). Grundsätzlich bevorzugt Rehwild heterogene Lebensräume mit fragmentierten Waldgebieten, Ackerflächen und buschreichen, feldnahen Waldrandzonen, die ihnen einerseits Schutz und Deckung und andererseits hochwertige Nahrungsquellen bieten (Sempere et al. 1996; Duncan et al. 1998; Mysterud und Østbye 1999).

Ein Mindestbestand an Wald ist im Lebensraum jedoch vonnöten, weswegen Rehe zu den vom Wald abhängigen Spezies gezählt werden (Lovari und San José 1997; Morellet et al. 2011; Lovari et al. 2017). Bei niedrigem Waldanteil suchen sie verstärkt Hecken und Sträucher auf (Morellet et al. 2011). Lovari et al. (2017) beobachteten bei Rehwild in Italien, dass sie ihre Aktionsräume bei sehr geringen Waldanteilen deutlich ausdehnten, um außerhalb der Aktionsräume liegende Waldflächen in ihren Lebensraum einzuschließen.

Im Frühjahr und im Sommer bieten Wiesen und Ackerflächen im Vergleich zu Wäldern günstigere Bedingungen im Hinblick auf die Verfügbarkeit hochwertiger Nahrungsressourcen (Duncan et al. 1998; Heinze et al. 2011). Die Tiere bewegen sich in dieser Zeit zwischen offenen Flächen zur Futtersuche und geschlossenen,

Deckung bietenden Bereichen (Hansson 1994; Lovari und San José 1997). Im Winter ist auf Wiesen und Ackerflächen jedoch die Ressourcenverfügbarkeit stark reduziert (Abbas et al. 2011).

Wald bietet nicht nur Schutz vor Wind und Kälte, sondern auch Deckung vor Prädatoren (Mysterud und Østbye 1999). Mattioli et al. (2004) beobachteten bei höherer Waldabdeckung beispielsweise einen Rückgang der Bejagung durch den Wolf. Neben Deckung bietet der Wald ein kontinuierliches Nahrungsangebot über das gesamte Jahr hinweg (Morellet et al. 2011; Heinze et al. 2011). Folglich wurde in der Zeit von Herbst und Winter ein erhöhtes Vorkommen der Tiere in Hecken- und Waldgebieten beobachtet (Morellet et al. 2011; Heinze et al. 2011).

Grundlage der Winternahrung stellt vor allem Unterholz in Wäldern und Hecken dar (Heinze et al. 2011). Kleinen Sträuchern wie Brom- bzw. Himbeerarten (*Rubus spp.*) und Heidel- bzw. Preiselbeerarten (*Vaccinium spp.*) sowie Kräutern auf dem Waldboden kommt dabei eine besondere Bedeutung zu (Heinze et al. 2011). Diese Arten finden besonders in lichten Wäldern mit geringer Kronenabdeckung günstige Wachstumsbedingungen. So beobachteten die Autoren im brandenburgischen Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin die höchste Rehwilddichte im Winter in alten, lichten Kiefernwäldern mit einem hohen Angebot an Unterholz. Reife Buchenwälder mit dichtem Kronendach wurden von allen Waldformen am stärksten gemieden (Heinze et al. 2011).

Insgesamt bieten Laubwälder verglichen mit Nadelwäldern während der Frühlings- und Sommerperiode ein höheres Nahrungsangebot, während im Herbst und Winter das Nahrungsangebot sinkt. Ausgenommen davon sind Mastjahre mit einer Fülle an Früchten sowie Jungbaumbestände mit Trieben junger Baumsetzlinge (Falinski 1986; Heinze et al. 2011).

Die intensive Landwirtschaft mit dem Anbau von Futterpflanzen sowie die Ausrottung großer Raubtiere ermöglichten die Entwicklung von Feldrehpopulationen in deckungsarmen Ackerlandschaften (Ellenberg 1978).

Die starke Ausbreitung des Rehwilds in landwirtschaftlich geprägten, offenen Regionen haben zu Anpassungen des sozialen und räumlichen Verhaltens im Vergleich zu den in Waldlebensräumen lebenden Artgenossen geführt, weswegen zwischen Ökotypen „Feldrehen“ und „Waldrehen“ unterschieden wird. Es gibt jedoch keine Hinweise auf einen genetischen Unterschied (Kurt et al. 1993).

1.3. Ernährungsweise

1.3.1. Nahrungsspektrum und -bedarf

Rehe ernähren sich insgesamt von einer ganzen Reihe von Pflanzenspezies wie Moosen, Farnen, Flechten, Nadelbäumen, Laubbäumen, Sträuchern, Kräutern, Kulturpflanzen, Gräsern und Seggen, auch Arten aus dem Reich der Pilze nehmen sie auf (Tixier und Duncan 1996). Der Verzehr von ca. 1000 Pflanzenarten ist beschrieben (Sempere et al. 1996). Sie nutzen neben den Blättern viele weitere Pflanzenteile, holzige Anteile werden jedoch nur in geringem Umfang ausgewählt (Duncan et al. 1998). In landwirtschaftlich dominierten Gebieten sind ihre Hauptnahrungsquelle Saatgut, Wurzeln und Früchte von Kulturpflanzen sowie Kräuter (10 - 42 %) und Gräser (bis 10 %) (Tixier und Duncan 1996). Insgesamt benötigt ein ausgewachsenes Reh zwischen vier und fünf kg Pflanzenfrischmasse pro Tag (Roblick 2018). Die Anteile der einzelnen Pflanzenarten in der Nahrung variieren je nach Lebensraum und Jahreszeit, im Winter nimmt das Nahrungsangebot stark ab und ist weniger abwechslungsreich, gleichzeitig sinken auch Stoffwechselrate und Energieverbrauch (Sempere et al. 1996).

Die Maxima der Nahrungsaufnahme finden sich im Frühling, Frühsommer und Herbst. Im Frühjahr beschleunigt sich mit Beginn des Vegetationsaustriebes der Verdauungsprozess, die Stoffwechselrate steigt und der Energiebedarf nimmt zu. Die Höhepunkte der Stoffwechselaktivität werden während Blattzeit, Trächtigkeit und Laktation erreicht (Sempere et al. 1996).

1.3.2. Ernährungsstrategie der Konzentratspektierer

Die Ernährungsstrategie von Wiederkäuern wird bestimmt durch ihre Körpermasse und ihre anatomischen Anpassungen (Hofmann 1989). Die benötigte Energie ist proportional zur metabolischen Körpermasse ($KM^{0,75}$), sodass kleinere Arten pro kg Körpermasse mehr Energie benötigen (Duncan et al. 1998). Die Kapazität des Gastrointestinaltraktes von Wiederkäuern ist jedoch proportional zur Körpermasse, kleinere Arten benötigen folglich mehr Energie pro Volumeneinheit aufgenommener Nahrung und sind daher verglichen mit größeren Pflanzenfressern auf qualitativ hochwertigere Nahrungsquellen angewiesen (Gordon und Illius 1994).

Hofmann (1989) unterteilte Wiederkäuer in Raufutterfresser, Konzentratspektierer sowie den dazwischenliegenden Intermediärtyp, Rehwild wird dabei den

Konzentratselektierern zugeordnet (siehe Abb. 5). Domestizierte Arten (weiß dargestellt) finden sich unter den Konzentratselektierern nicht.

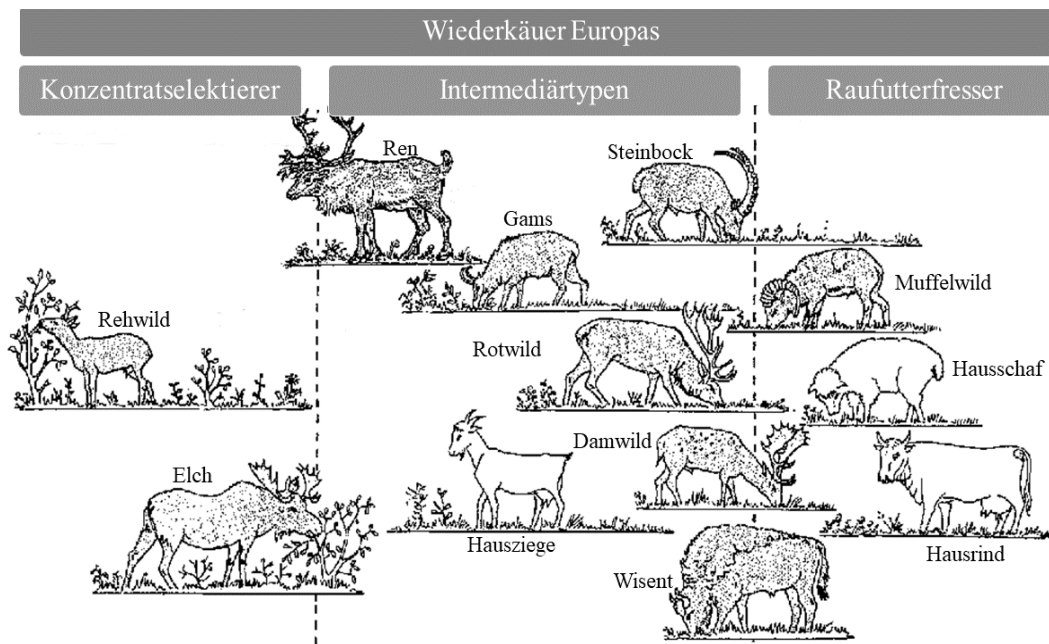


Abbildung 5: Europäische Wiederkäuer eingeordnet nach Ernährungstypen; modifiziert nach (Hofmann 1989)

domestizierte Arten weiß; vorwiegend wildlebende Arten inkl. Ren schattiert

Als Konzentratselektierer sind Rehe mit einem Verdauungssystem ausgestattet, das weit weniger auf das effiziente Verdauen von Pflanzenfasern (vor allem Cellulose) ausgerichtet ist. Sie sind an die Verarbeitung leicht verdaulichen Futters angepasst, das reich an zugänglichen, löslichen und energiereichen Stoffen des Zellinneren der Pflanzenzellen ist (Hofmann 1989; Kamler et al. 2003). Je nach Jahreszeit und Ort suchen Rehe gezielt nach einer kleinen Anzahl von ein bis drei bevorzugten Pflanzenarten (Duncan et al. 1998). Sie wählen die Arten und deren Pflanzenteile im Einklang mit der Vegetationsphänologie in frühen phänologischen nährstoffreichen Phasen mit hohem Kohlenhydrat- und Proteinanteil und niedrigem Fasergehalt und selektieren besonders Knospen, Blüten, Früchte, Keimlinge oder junge Triebe (Ellenberg 1978; Hofmann 1989; Gill et al. 1996).

Ihre extrem ausgeprägte Selektionsfähigkeit beruht in erster Linie auf ihrem bemerkenswerten Geruchssinn (Hofmann 1989). Als Konzentratselektierer bevorzugen sie Dikotylen (zweikeimblättrige Pflanzen), wie Wildkräuter sowie Pflanzentriebe von Bäumen und Sträuchern (Mussa et al. 2003; Hummel et al. 2006; Czyżowski et al. 2018). Dagegen ernähren sich Raufutterfresser vorwiegend von zellulosereichen Monokotyledonen (einkeimblättrige Pflanzen) wie Gräsern

(Mussa et al. 2003; Hummel et al. 2006).

Die typischen morphophysiologischen Anpassungen des Konzentratsselektierers Rehwild manifestieren sich in mehreren strukturellen Merkmalen entlang des Verdauungstrakts, die sie vom Raufutterfresser unterscheiden (siehe Abb. 6) (Hofmann 1989; Kamler et al. 2003).

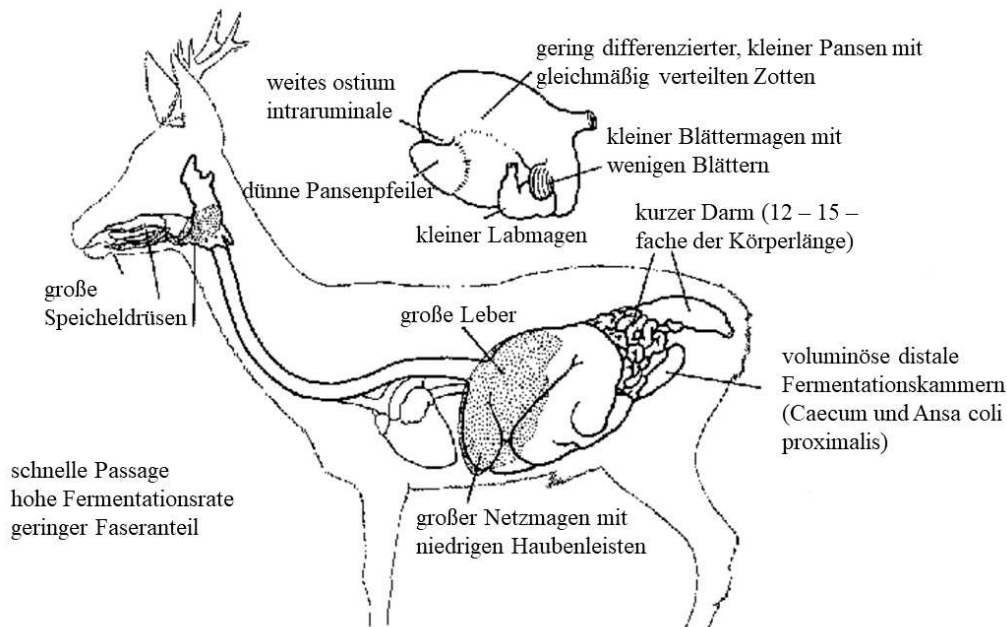


Abbildung 6: Morphophysiologische Merkmale der Konzentratsselektierer gegenüber den Raufutterfressern am Beispiel Reh; modifiziert nach Hofmann (1989)

Eine große Maulspalte und eine bewegliche und weiche Zunge helfen dem Reh bei der gezielten Selektion. Große Speicheldrüsen produzieren verhältnismäßig viel Speichel, um den pH-Wert im Pansen zu stabilisieren. Außerdem bindet der Speichel phenolische Verbindungen, die von Pflanzen zum Schutz vor Fressfeinden gebildet werden. Um hochwertige Nahrungsmittel an der Fermentationskammer Pansen vorbeizuschleusen, nutzen Rehe auch mithilfe ihrer erhöhten Speichelproduktion eine stark ausgeprägte Ventrikelrinne (*sulcus ventriculi*). Somit werden diese Futterstoffe keiner Fermentation im Pansen, sondern ausschließlich einer monogastrischen Verdauung im Labmagen unterzogen, sodass hochwertige Nährstoffe nicht von den Pansenmikroben zersetzt werden (Hofmann 1989).

Der Pansen der Konzentratsselektierer zeichnet sich im Vergleich zu dem der Raufutterfresser durch eine geringere Größe in Relation zur Körpermasse, einen geringeren Füllungsstand, eine geringere Differenzierung und eine dichtere Besetzung mit Pansenzotten aus (Ellenberg 1978; Hofmann 1989; Kamler et al.

2003). Außerdem nimmt der Netzmagen bei Konzentratsselektierern einen höheren Anteil des Gesamtmagenvolumens ein (Kamler et al. 2003).

Der Pansen der Konzentratsselektierer ist weniger stark unterteilt und mit schwächerer Muskulatur und schmalere Pansenpfeilern ausgestattet als der der Raufutterfresser. Dies gewährleistet die schnelle Weiterleitung des Futterbreis. Zudem findet sich die typische Schichtung der Futterpartikel nach Größe und spezifischem Gewicht, wie bei Raufutterfresser üblich, bei Konzentratsselektierern nicht. Das Retikulum ist größer und steht in weiter Verbindung zum Pansen, was der schnelleren Pansenpassage und der kürzeren Retentionszeit der Ingesta zuträglich ist. Die Pansen der Konzentratsselektierer haben deutlich dichter angeordnete und gleichmäßiger verteilte Pansenpapillen. Die folglich größere Oberfläche des Lumens führt zu einer schnelleren Absorption kurzkettiger Fettsäuren. Im kleinen Pansen mit seiner größeren absorbierenden Oberfläche findet viel pflanzliche Zellinhaltsgärung (durch amylolytische Bakterien), aber verglichen mit den Raufutterfressern weit weniger zellolytische Fermentation statt (Hofmann 1989).

Die Pansenanatomie und Verdauungsphysiologie bedingt beim Konzentratsselektierer Reh eine häufigere Nahrungsaufnahme im Tagesverlauf (Ellenberg 1978). Sie zeigen ein tägliches Aktivitätsmuster, Futtersuche und Widerkauen wechseln sich in sechs bis zwölf Perioden pro Tag ab, wobei vor allem die morgendliche und die abendliche Aktivitätszeiten von großer Bedeutung sind (Hofmann 1989; Sempere et al. 1996). Ellenberg (1978) beobachtete vier bis acht Aktivitätsschübe innerhalb von 24 Stunden im Winter und maximal 14 im Sommer. Der Psalter hingegen ist bei Konzentratsselektierern von verringerter relativer Größe und besitzt weniger Psalterblätter, die bei Raufutterfresser wichtige Wasserabsorption in diesem Abschnitt des Verdauungstrakts findet nur begrenzt statt, auch dies dient der schnelleren Passage der Ingesta (Hofmann 1989).

Der Labmagen hat im Vergleich zu Raufutterfressern ähnlicher Körpermasse eine zweifach verdickte Magenschleimhaut mit folglich doppelt so vielen säureproduzierenden Parietalzellen. Die vermehrte Säureproduktion wird benötigt, um die größeren Mengen alkalischen Speichels auszugleichen, welcher über die Ventrikelrinne (*sulcus ventriculi*) in den Labmagen gelangt. Der Ausgleich des pH-Wertes ist insbesondere wichtig für das Abtöten von Mikroorganismen aus dem Pansen, welche als Proteinlieferanten verdaut werden sollen, sowie für die Aktivierung der Pepsinaktivität. Überdies gilt es noch die an der ruminalen

Verdauung vorbeigeschleusten Pflanzengewebe zu verdauen, die zum Teil schwer lösliche Verbindungen enthalten (Hofmann 1989).

Die Verdauung im Bereich von Dün- und Dickdarm nimmt bei den Konzentratselktierern eine wichtigere Position ein als bei den Raufutterfressern. Zwar ist der Darm der Konzentratselktierer insgesamt mit dem ca. 12 - 15-fachen der Körperlänge kürzer als bei Raufutterfressern (ca. 25 - 30-fache der Körperlänge), jedoch nimmt der Dickdarm mit den distalen Gärkammern (*Caecum* und *Ansa proximalis coli*) beim Konzentratselktierer einen doppelt so großen Anteil an der Gesamtdarmlänge (27 - 35 % im Vergleich zu 18 - 20 % beim Raufutterfresser) ein (Hofmann 1989). Im Winter schaffen es Konzentratselktierer, durch eine verlängerte Verbleibzeit der Ingesta im Magendarmtrakt, die Faserverwertung zu steigern und reagieren damit auf eine verringerte Verfügbarkeit hochenergetischer Nahrung. Wie andere Konzentratselktierer können sie die Größe der Pansenpapillen und damit die Oberfläche der Pansenschleimhaut regulieren und somit den Nährstoffgegebenheiten anpassen. Die maximale Oberfläche erreicht die Pansenschleimhaut des Rehs bei maximaler Futteraufnahme im Herbst, bis Ende Februar nach zwei bis drei Monaten reduzierter Futteraufnahme und Inaktivität sinkt die Oberfläche um 30 - 50 % (Hofmann 1989).

Kamler et al. (2003) zeigten, dass das Gesamtvolumen des Pansens in der Vegetationsperiode bei Rehen um durchschnittlich 11,8 % höher ist als im Winter. Dabei zeigten Geißen im Vergleich zu den Böcken während der Vegetationsperiode höhere Werte für das relative Volumen des gesamten Magens (ca. 40 %) (Kamler et al. 2003).

Neben dem Pansenvolumen kann auch die Kapazität der distalen Fermentationskammern deutlich erhöht werden, wobei diese vor allem im Winter benötigt werden, wenn das verfügbare Futter faserreicher ist. Beim Intermediärtyp Gams wurde eine saisonale Steigerung von 220 ml auf 1000 ml im Winter beobachtet, beim Konzentratselktierer Reh liegt der Wert der Steigerung aller Voraussicht nach noch höher (Hofmann 1989).

Insgesamt begünstigt die Ernährungsstrategie des Konzentratselktierers Reh die Ressourcenverwertung während der Jahreszeiten mit reichhaltigem Nahrungsangebot, verstärkt jedoch in gleichem Maße seine Abhängigkeit von hochwertigen Nahrungsquellen.

1.4. Reproduktion

1.4.1. Reproduktionszyklus und Trächtigkeit

Die Paarungszeit der Rehe (Blattzeit) findet im Juli und August statt (Aitken 1974). Geißen sind saisonal monoöstrisch, die Dauer des Östrus beträgt typischerweise 36 Stunden (Strandgaard 1972). Die Fortpflanzungsaktivität der Geißen beginnt im Alter von 14 Monaten, Böcke sind bereits am Ende ihres ersten Lebensjahres geschlechtsreif, beginnen mit der Reproduktion jedoch meist erst ab dem dritten Lebensjahr (Strandgaard 1972; Ellenberg 1978; Sempere et al. 1996).

Auch ab dem dritten Lebensjahr verteidigen Rehböcke innerhalb ihrer Aktionsräume stabile Territorien von Winterende bis Ende der Blattzeit (Hewison et al. 1998).

Das Recht, ein Territorium zu besetzen, wird jedes Jahr neu zwischen den Böcken erkämpft (Sempere et al. 1996). Die Größe der Territorien, die olfaktorisch und optisch markiert werden, variiert je nach Lebensraumqualität und Populationsdichte zwischen 2 und 200 ha. Aggressives Verhalten der Böcke gegenüber anderen Böcken fällt zusammen mit dem Fegen des Basts und mit Markierungsaktivitäten. Das von März bis Ende August geltende Territorialsystem ermöglicht dominanten Männchen die vollständige Kontrolle über die eingeschlossenen Ressourcen, einschließlich des Zugangs zu erwachsenen Weibchen (Ellenberg 1978; Sempere et al. 1996).

Etwa einen Monat vor der Geburt der Kitze besetzen Geißen kleinere Familienbereiche innerhalb eines oder mehrerer Bockterritorien, zum Zeitpunkt der Geburt trennen sich die Geißen von der Gruppe und verteidigen teilweise ihre Familienbereiche gegen andere Weibchen. Während der Blattzeit paaren sich die Geißen mit den Böcken, in deren Territorien ihre Familienbereiche liegen (Ellenberg 1978; Sempere et al. 1996; Hewison et al. 1998).

Der Fortpflanzungszyklus und die Zuchtperiode unterscheiden sich signifikant von denen nah verwandter Huftiere, da die Trächtigkeit beim Rehwild erst nach einer in dieser Familie einzigartigen embryonalen Diapause abläuft (Aitken 1974, 1981). Auf die Blattzeit von Juli bis August folg nach erfolgreicher Befruchtung eine fünfmonatige embryonale Diapause, an die sich schließlich eine fünfmonatige normale Trächtigkeit anschließt (Aitken 1981; Holand 1992).

Die befruchtete Eizelle im Morulastadium dringt in die Gebärmutter ein, wo sie sich schnell teilt und ein Blastozystenstadium mit einem Durchmesser von 0,1 mm

erreicht, darauf folgt eine vier- bis fünfmonatige Periode mit minimaler mitotischer Aktivität und langsamer Entwicklung, die zu einer Blastozyste mit einem Durchmesser von 5 mm führt. Die verzögerte Implantation wird durch die Entwicklung der Blastozyste selbst gesteuert und nicht durch die Bildung einer anatomischen Verbindung zwischen der Blastozyste und der Gebärmutter. Die Einnistung des Embryos erfolgt normalerweise im Januar, der späte Teil der Trächtigkeit ist dann durch ein rasches Wachstum des Embryos gekennzeichnet (Aitken 1974, 1981).

Die Trächtigkeitsdauer insgesamt liegt zwischen 264 und 318 Tagen, die Geburt der Kitze findet zwischen April und Juli statt. Im Gegensatz zum Rothirsch, dem Damhirsch (*Dama dama*) und dem Rentier (*Rangifer tarandus*) die immer nur ein Kalb pro Trächtigkeit gebären, haben Rehe häufig Zwillingsgeburten. Die Wahrscheinlichkeit einer Zwillingsträchtigkeit steigt mit dem Gewicht der Geiß (Andersen et al. 2000). Neugeborene Kitze wiegen zwischen 1,0 und 1,7 kg und werden sehend und behaart geboren. Die Laktation nimmt ab August ab, im Frühherbst werden die Kitze abgesetzt. Bereits ab den ersten fünf bis zehn Lebenstagen ernähren sich die Kitze neben der Milch auch von pflanzlichem Futter (Ellenberg 1978; Sempere et al. 1996).

Zu der Fähigkeit der Keimruhe kommt, dass Rehe als Konzentratsselektierer in der Lage sind, die Futteraufnahme während Zeiten hoher Stoffwechselaktivität um das Zwei- bis Dreifache erhöhen. Mit diesen Fähigkeiten können sie die Spitzen des Nährstoffbedarfs während der Gravidität und vor allem während der Laktation und dem Wachstum der Kitze decken (Hofmann 1989).

Bei Huftieren tragen die Männchen keine elterliche Fürsorge bei, so dass Anzahl, Größe und Wachstum der Nachkommen allein durch mütterliche Fürsorge, d.h. durch die von der Mutter zugeteilte Energie bestimmt werden. Bei Rehen ist der Grad der mütterlichen Fürsorge vergleichen mit anderen Huftieren sowohl während der Trächtigkeit als auch während der Laktation hoch (Evans 1990; Andersen et al. 2000; Portier et al. 2000).

1.4.2. Reproduktionsstrategie der Ertragszüchter

Um den Ressourcenbedarf der Reproduktion zu kompensieren, erhöhen Organismen in der Regel die Menge der insgesamt aufgenommenen Nahrungsressourcen. Im Zuge dessen werden allgemein zwei Strategien beschrieben, die der Kapitalzüchter und die der Ertragszüchter. Diese Strategien

werden hauptsächlich über die zeitliche Verteilung der Ressourcenbeschaffung im Verhältnis zur Ressourcennutzung definiert. Ein Kapitalzüchter erwirbt die Ressourcen im Voraus und lagert sie in Form von Körperreserven ein, bis sie für die Stoffwechselaktivität der Reproduktion benötigt werden. Ein Ertragszüchter hingegen passt die Nahrungsaufnahme zeitgleich der Fortpflanzung an, ohne auf Reserven angewiesen zu sein oder richtet die Reproduktion zeitlich nach dem Vorhandensein von ausreichenden Nahrungsquellen aus (Stearns 1992; Jönsson und Jonsson 1997).

Da es unter Säugetieren keine absoluten Kapital- oder Ertragszüchter gibt, beschreibt Stearns (1992) ein Kapitalzüchter-Einkommenszüchter-Kontinuum, in welches Arten unter Berücksichtigung ihrer Reproduktionsstrategie eingeordnet werden. Huftiere werden als große Tiere im Allgemeinen im Bereich der Kapitalzüchter eingeteilt (Stearns 1992). Kleine Huftiere wie Rehe sind allerdings aufgrund ihrer geringen Körpermasse verglichen mit anderen Cerviden in der Lage nur geringe Reserven an Energie und Nährstoffen anzulegen und werden eher am Ertragszüchterende des Kontinuums verortet (Holand und Staaland 1992; Stearns 1992; Andersen et al. 2000). Rehe können durchschnittlich weniger als 10 % der für die Reproduktion benötigten Energie aus Körperreserven mobilisieren (Hewison et al. 1996). Dass Rehe keine reinen Ertragszüchter sind, verdeutlicht auch die bei dieser Art die positive Korrelation von Gewicht der Geißen mit dem Reproduktionserfolg. So muss eine Geiß für die Ovulation ein bestimmtes Schwellengewicht aufweisen, das je nach Population variieren kann (Andersen et al. 1998; Andersen et al. 2000). Schwere Geißen haben im Durchschnitt ein längeres Leben, mehr Jungtiere pro Saison, frühere Geburtszeiten der Jungtiere, höhere Reserven für die Laktation und ein größeres Gesäuge mit höherer Milchleistung (Toïgo et al. 2006; Andersen et al. 2000). Jedoch sind diese Effekte der Körpermasse auf den Fortpflanzungserfolg deutlich geringer ausgeprägt als bei Arten der Kapitalzüchter (Stearns 1992).

Der Vorteil der Strategie der Ertragszüchter liegt in der Nutzung der Nahrungsressourcen ohne Kosten für Ansatz, Abbau und Unterhalt von Körperreserven. Weiterhin kann auf die Kosten in Form von Zeit und Energie für die überschüssige Futtersuche zum Anlegen der Reserven verzichtet werden (Jönsson und Jonsson 1997; Andersen et al. 2000).

Die Nachteile der Strategie der Ertragszüchter beziehen sich vorwiegend auf Beschränkungen der Nahrungsressourcen während der Trächtigkeit und der

Laktation. Weiterhin könne ressourcenreiche Phasen vor der Reproduktion schlechter für diese genutzt werden. Außerdem können Risiken durch unvorhersehbare Ereignisse mit hohem Energie- und Nährstoffbedarf oder plötzliche Knappheit an Nahrungsressourcen zum Beispiel durch ungewöhnliche Klimaereignisse ohne ausreichende Reserven schlecht ausgeglichen werden (Jönsson und Jonsson 1997).

Als Folge der Reproduktionsstrategie ist die Nahrungsverfügbarkeit in der Frühjahrs- und Sommersaison während der Zeit von Geburt und Aufzucht der Kitze für die Ontogenese der Rehe von entscheidender Bedeutung (Heinze et al. 2011). Die Nährstoffbilanz der Geißen als Ertragszüchter ohne nennenswerte Körperreserven zu diesem Zeitpunkt hat erhebliche Auswirkungen auf die Körpermasse der Geißen. Die Energieversorgung und damit das Körpergewicht der Geißen wiederum korreliert nicht nur mit der Anzahl der Nachkommen, sondern auch mit dem Geburtsgewicht und den Wachstumsraten der Kitze (Pettorelli et al. 2003; Toïgo et al. 2006). Das Gewicht der Kitze wiederum steht darüber hinaus im direkten Zusammenhang mit dem Überleben des Jungtieres im ersten Winter und dem späteren Körpergewicht bzw. den Leistungswerten des adulten Tieres (Pettorelli et al. 2002; Pettorelli et al. 2003; Kjellander et al. 2006; Toïgo et al. 2006).

Gaillard et al. (1993a) beschreiben ein durchschnittliches Geburtsgewicht der Kitze von 1628 g und eine hohe postnatale Wachstumsrate von 139 g/Tag bzw. 154 g/Tag (Portier et al. 2000) konstant über die ersten 20 Lebenstage, in welcher das Wachstum des Kitzes fast vollständig von der Milch des Muttertieres abhängt. Mit dem Gewicht der Geißen nahm neben der durchschnittlichen Wurfgröße auch die postnatale Versorgung der Kitze gemessen an den täglichen Gewichtszunahmen zu (Andersen et al. 2000).

Für eine ausreichende Ressourcenversorgung während der Reproduktion des Rehwilds ist die Vorhersehbarkeit des Ressourcenangebots folglich von entscheidender Bedeutung, da Geißen während Trächtigkeit, Laktation und der Aufzucht der Kitze im Frühjahr und Sommer sehr viel Energie aufwenden müssen (Duncan et al. 1998; Andersen et al. 2000). Ausschlaggebend dafür ist das Zusammenfallen der Setz- und Laktationszeit mit der Phase des Vegetationsaustriebes im Frühling, zu dieser Zeit ist das Nahrungsangebot für Rehwild am günstigsten (Ellenberg 1978; Andersen et al. 2000).

Um dies zu gewährleisten, haben Rehe die bereits beschriebene Eiruhe entwickelt

(Holand 1992; Aitken 1981).

Die Verzögerung der embryonalen Entwicklung gewährleistet, dass der Höhepunkt der Stoffwechselaktivität der Geißen mit dem Höhepunkt der Nahrungsverfügbarkeit zusammenfallen (Holand und Staaland 1992; Duncan et al. 1998).

Gleichzeitig ermöglicht es dem Rehwild, dem Winter mit maximalen Energiereserven zu begegnen und die energieaufwendige Trächtigkeit ganz nach Ertragszüchtertaktik zum Großteil auf Zeiten mit besserer Nahrungsverfügbarkeit zu verschieben (Holand 1992). Zudem zeigt die um ca. 40 % höhere Magenkapazität der Geißen im Vergleich zu den Böcken während der Vegetationsperiode (Kamler et al. 2003) die Anpassungsfähigkeit der Tiere an den hohen Energiebedarf und das reiche Nahrungsangebot zu dieser Jahreszeit.

Neben vielen beschriebenen Vorteilen verstärkt die Reproduktionsstrategie des Ertragszüchters die Abhängigkeit des Rehs von einer hohen Ressourcenqualität in der Zeit des Frühjahrs und des Sommers.

Vor diesem Hintergrund untersuchten mehrere Studien die Auswirkungen der globalen Erwärmung auf Rehwildpopulationen. Die Autoren konnten nachweisen, dass durch die erhöhten Durchschnittstemperaturen der Vegetationsaustrieb um bis zu zwei Wochen früher stattfand, ohne dass die Geburtszeitpunkte der Kitze an diese Veränderung angepasst wurden. Als Folge der wachsenden Diskrepanz zwischen Vegetationsaustrieb und mittlerem Geburtszeitpunkt nahmen die Überlebensraten der Jungtiere ab. Die Autoren vermuten, dass die energiereichen Knospen und Austriebe, die für eine ausreichende Versorgung während der kritischen Aufzuchtphase in Frühjahr benötigt werden, nur für einen kurzen Zeitraum zu Verfügung stehen und sehen in der globalen Erwärmung eine große Herausforderung für die Rehpopulationen. Sie sagen einen Rückgang der Population voraus, sollten die Rehe sich nicht durch Anpassung des Geburtszeitraums an die früheren Vegetationsperioden anpassen (Chase 2014; Gaillard et al. 2013; Plard et al. 2014)

1.5. Die Körpermasse des Rehs

1.5.1. Wachstum und saisonale Schwankungen

Zur Körpermasse eines ausgewachsenen Europäischen Rehs finden sich in der

Literatur unterschiedliche Angaben und breite Spannen, was aus dem großen Verbreitungsgebiet (siehe Abb. 2) und den daraus folgenden unterschiedlichen Umwelt- und Klimabedingungen resultiert. Generell zeigen Rehe einen nur gering ausgeprägten Sexualdimorphismus, die Körpermasse variiert mit weniger als 10 % nur in geringem Umfang zwischen den Geschlechtern (Andersen et al. 1998; Geist 1998). Stubbe (2008) nennt eine Lebendkörpermasse für ausgewachsene Tiere von 11 - 34 kg, Sempere et al. (1996) beschreiben eine Spanne von 22,6 - 32 kg.

Nach der Geburt mit 1 - 1,7 kg ist das Wachstum der Kitze beider Geschlechter zu Beginn rasch, verlangsamt sich aber zwischen November und April des ersten Lebensjahres dann deutlich. Im Alter von zwei Monaten sind Bockkitze schwerer als weibliche Jungtiere, im restlichen ersten Lebensjahr gleichen sich die Körpermassen dann an. Geißen erreichen mit 14 Monaten bereits die Körpermasse der adulten Tiere gleichen Geschlechts, Böcke bringen zu diesem Zeitpunkt erst ca. 80% ihres späteren Endgewichts auf die Waage. Dies deutet darauf hin, dass das Wachstum der Böcke erst im dritten Lebensjahr abgeschlossen ist (Hewison et al. 1996; Sempere et al. 1996).

Ellenberg (1978) beobachtete bei Tieren im Rehgatter, dass Geißen mit zweieinhalb und Böcke mit dreieinhalb Jahren ihr Erwachsenenengewicht erreichen.

Im Laufe eines Jahres schwankt das Körpergewicht ausgewachsener Rehe zyklisch (Holand 1992; Hewison et al. 1996). Im Vergleich zu anderen Cerviden sind die jahreszeitlichen Schwankungen beim Rehwild deutlich geringer ausgeprägt, da sie als Ertragszüchter nur in geringem Maße Körperreserven für die Fortpflanzung anlegen (Holand 1992; Andersen et al. 2000). Rehböcke verlieren während der Zeit der Fortpflanzung durchschnittlich nur 7,5 % ihrer Körpermasse, bei anderen Wildwiederkäuern liegt der Wert deutlich höher, wie bei Rotwild mit 19,5 % und bei Gämsen (*Rupicapra rupicapra*) mit 16 % (Apollonio et al. 2020). Bei einzelnen Rehböcken konnte jedoch zwischen Anfang Juli und Mitte August ein Gewichtsverlust von über 25 % beobachtet werden (Ellenberg 1978).

Ein weiterer Unterschied zu größeren Cerviden ist die intersexuelle Synchronität der zyklischen Schwankungen der Körpermasse, die durch die synchronen reproduktiven Investitionen von Geißen und Böcken erklärt werden kann (Holand 1992).

Prinzipiell steigt das Körpergewicht im Frühjahr zwischen Februar und April an, sodass im April das Maximum erreicht wird (Hewison et al. 1996). Von April bis Oktober (Holand 1992) bzw. bis August bei Geißen und bis November bei Böcken

(Hewison et al. 1996) sinkt die Körpermasse dann durch reproduktive Aktivität und eine geringere Nahrungsaufnahme während der Blattzeit (Ellenberg 1978; Hewison et al. 1996). Geißen investieren in dieser Zeit in Trächtigkeit und Laktation, Böcke in die Verteidigung ihrer Territorien und soziale Interaktionen (Holand 1992). Nach dem Höhepunkt von Laktation und Hauptbrunft haben sowohl weibliche als auch männliche Tiere Zeit, ihre Körperreserven vor dem Wintereinbruch wieder aufzufüllen (Holand 1992). Für die Zeit des Winters nennen die Autoren unterschiedliche Verläufe, verdeutlicht an zwei Populationen in Norwegen (Holand 1992) und Frankreich (Hewison et al. 1996).

Holand (1992) beobachtete bei einer norwegischen Rehpopulation eine über den Winter erfolgende Abnahme der Körpermasse und setzt diese mit dem reduzierten Nahrungsangebot im Winter in Verbindung. Danach verloren Geißen zwischen Spätherbst und Spätwinter durchschnittlich 3,4 kg, Böcke sogar 4,9 kg, was einem Gewichtsverlust von 14 % bei den Geißen und 18 % bei den Böcken entsprach (Holand 1992). Hewison et al. (1996) untersuchte eine Rehpopulation südlich von Paris, bei dieser wurden über den Winter sogar leichte Gewichtszuwächse beobachtet, was die Autoren mit den milden Wintern erklärten.

Der Aufbruch also der Inhalt von Bauch- und Brusthöhle nimmt nach Stubbe (2008) durchschnittlich bei Böcken 28 (17 - 34) %, bzw. bei Geißen 31 (20 - 41) % der Lebendkörpermasse ein, Weiner (1973) nennt für adulte Tiere einen Durchschnitt von 34,9 (37,4 - 32,0) % und für Kitze von 41,3 %.

1.5.2. Einflüsse auf die Körpermasse

In der Literatur werden verschiedene Körpermerkmale als Indikatoren des Wachstumszustandes wildlebender Tiere verwendet. Die Körpermasse ist dabei das grundlegende Kriterium zur Beurteilung der ontogenetischen Qualität. Sie spiegelt die gesundheitliche Verfassung des einzelnen Tieres wider, bestimmt seine Überlebensfähigkeit und seinen Fortpflanzungserfolg. Des Weiteren kann der physische Zustand eines Individuums der Betrachtung und Bewertung einer Population dienen und Hinweise auf die Ressourcenverfügbarkeit geben (Hewison et al. 1996; Gaillard et al. 1997; Pettorelli et al. 2002; Kjellander et al. 2006; Toïgo et al. 2006).

Allgemein benötigen Tiere Zugang zu einer Reihe von Ressourcen und Bedingungen (z.B. Futter und Deckung/Zuflucht), um ihr Wachstumspotential zu realisieren (Berryman und Hawkins 2006). Während phänotypische Attribute wie

Alter, Geschlecht oder Genetik die meisten beobachteten Schwankungen der Körpermasse bei adulten Tieren bewirken, spielen vor allem die Umweltbedingungen in frühen Lebens- und Wachstumsphasen eine große Rolle (Duncan et al. 1998; Andersen et al. 2000; Buzan et al. 2020). Die Verfügbarkeit von Pflanzen, die in der Phase von Trächtigkeit und Aufzucht der Kitze als hochenergetische Nahrungsquellen dienen, stellen den Schlüsselfaktor für die Dynamik und die Körperkondition von Rehpopulationen dar (Pettorelli et al. 2003; Gómez et al. 2006; Heinze et al. 2011).

Besonders die Jungtiere reagieren sehr sensitiv auf Veränderungen der Verfügbarkeit von Ressourcen (Pettorelli et al. 2003). Die Körpermasse der Kitze während des ersten Lebenswinters wird von einigen Autoren als zuverlässiger Indikator für den Zustand einer Population angesehen, darüber hinaus steht sie in engem Zusammenhang mit der Überlebenswahrscheinlichkeit im ersten Winter (Gaillard et al. 1993b; Pettorelli et al. 2003). Außerdem besteht ein Zusammenhang eines hohen Kitzgewichtes während des ersten Winters mit einer hohen Körpermasse des adulten Tieres (Pettorelli et al. 2002).

Hewison et al. (2009) beschreiben, dass Rehe, die in offenen Landschaften lebten, durchschnittlich 1 kg schwerer waren als Tiere aus dichten Waldgebieten, bei Jungtieren war der Unterschied noch größer. Wajdzik et al. (2016) untersuchte den Einfluss der Walddichte auf Rehböcke 169 verschiedener Reviere in Mittelpolen und fanden signifikante Einflüsse auf das Rehkörpergewicht. Die höchsten durchschnittlichen Rehkörpergewichte wurden in typischen landwirtschaftlich geprägten Revieren mit geringem Waldanteil (< 20 % Waldanteil) verzeichnet, während die niedrigsten in Waldrevieren (> 40 % Waldanteil) gefunden wurden (Wajdzik et al. 2016). Bis auf die Gruppe der über sieben Jahre alten Böcke zogen sich diese signifikanten Unterschiede durch alle Altersklassen (Wajdzik et al. 2016). Janiszewski et al. (2009) analysierten die Rehkörpergewichte von insgesamt 43.818 erlegten Rehen aus Polen. Tiere aus landwirtschaftlich geprägten Regionen waren schwerer als Tiere aus vorwiegend waldbedeckten Lebensräumen. Zudem beschrieben Pételis und Brazaitis (2003) ein deutlich höheres Körpergewicht von Rehen des Feldökotyps aus Regionen mit weniger als 9 % Waldanteil verglichen mit Tieren aus großen Waldkomplexen. Bockkitze waren demnach um 10,7 %, Geißkitze um 18,9 %, Jährlinge um 22,1 %, adulte Böcke um 6,2 %, Geißen um 5,9 % schwerer (Pételis und Brazaitis 2003).

Czyżowski et al. (2018) verglichen Rehe aus fünf unterschiedlichen Regionen

Polens und ermittelten ähnliche Ergebnisse. Die Autoren bestimmten neben dem Waldanteil in den Regionen den Indikator der landwirtschaftlichen Produktion, die Waldfragmentierung (Gesamtlänge der Waldgrenzen (km) zur Gesamtfläche (km²)) sowie die prozentualen Anteile von Nadel-, Nadelmisch-, Laub- und Laubmischwald im jeweiligen Wald. Tiere aus Regionen hohen Waldanteils und geringer Waldfragmentierung waren signifikant leichter als Tiere aus typischen landwirtschaftlichen Gebieten mit fragmentierten Waldkomplexen (Czyżowski et al. 2018).

Das Phänomen der sinkenden Körpermasse bei steigendem Waldanteil lässt sich darauf zurückführen, dass in reinen und dichten Waldgebieten vor allem in der wichtigen Zeit des Frühjahrs weniger leicht verdauliche und kalorienreiche Nahrung zu finden ist (Pettorelli et al. 2003; Hewison et al. 2009; Heinze et al. 2011).

Zudem gibt es zwischen den jeweiligen Waldformen zu unterscheiden. Pettorelli et al. (2001) und Pettorelli et al. (2002) untersuchten verschiedene Rehpopulationen im westfranzösischen Chizé, darunter Tiere aus nahrungsreichen Eichenwäldern sowie solche aus Rotbuchenwäldern mit spärlicher Nahrungsverfügbarkeit. Acht Monate alte Jungtiere waren im Eichenwald durchschnittlich 0,6 kg schwerer als Kitze im Buchenwald (Pettorelli et al. 2001). Der Gewichtsunterschied nahm bis zum Winter auf bis zu 2 kg zu, was zu diesem Zeitpunkt etwa 15 % der Körpermasse der Jungtiere darstellte (Pettorelli et al. 2003). Die Gewichtsunterschiede bestanden fort bis ins adulte Alter, die Tiere aus den Eichenwäldern waren durchschnittlich schwerer (Böcke um 0,9 kg, Geißen und 0,5 kg) als die Artgenossen aus den Buchenwäldern. Die Autoren begründeten die Ergebnisse mit dem Vorkommen wichtiger Futterpflanzen in der Frühjahrs- und Sommerperiode im Eichenwald, die alle positiv mit der Körpermasse der Rehkitze in Verbindung gebracht wurden. Diese waren in diesem Fall Hainbuche (*Carpinus betulus*), Hasenglöckchen (*Hyacinthoides*) und Milchstern (*Ornithogalum*). Im gegenübergestellten Rotbuchenbestand wuchsen Pflanzen wie der Stechende Mäusedorn (*Ruscus aculeatus*) und Brombeersträucher (*Rubus* sect. *Rubus*), die, wie die Rotbuche (*Fagus sylvatica*) selbst, in der Frühjahrs- und Sommersaison von den Tieren eher gemieden werden und in negative Korrelation mit der Körpermasse gebracht wurden (Pettorelli et al. 2003).

Ein weiterer wichtiger Faktor des Lebensraums auf die Körpermasse ist die Populationsdichte. Kjellander (2000) berichtet, dass in einem Gebiet in Schweden

bei niedriger Populationsdichte geborene Tiere im Alter von drei Jahren 2 kg schwerer waren als Artgenossen, die in Jahren mit hoher Populationsdichte in diesem Gebiet geboren wurden. Pettorelli et al. (2001) fanden auch einen starken Einfluss der Populationsdichte im Geburtsjahr der Rehe auf die adulte Körpermasse. In Jahren hoher Populationsdichte waren weibliche Tiere nicht nur leichter, die postnatale Versorgung der Kitze nahm weiterhin ab (Andersen et al. 2000). Des Weiteren treten bei hohen Populationsdichten weniger Zwillingssträchtigkeiten auf (Focardi et al. 2002). Kjellander et al. (2006) beobachteten, dass weibliche Jungtiere bei einem Zuwachs der Populationsdichte von einem Tier pro Hektar im Schnitt ca. 0,2 kg weniger wogen. Ähnliche Ergebnisse fanden Toïgo et al. (2006), sie beobachteten eine Abnahme der Kitzgewichte bei steigender Populationsdichte.

Teilweise wird in der Literatur berichtet, dass Rehe in Lebensräumen mit sehr guten Bedingungen aufgrund der daraus resultierenden höheren Populationsdichte schlechtere phänotypische Qualität aufwiesen als Rehe in Lebensräumen mit schlechteren Bedingungen (Pettorelli et al. 2001). Insgesamt überwiegen aber die Einflüsse der Lebensraumqualität die der Populationsdichte (Kjellander et al. 2006).

Auch interspezifische Konkurrenz durch andere Arten hat Einfluss auf die Wachstumsleistung von Rehen. Richard et al. (2010) beschreiben eine Abnahme des durchschnittlichen Kitzgewichtes bei erhöhter Dichte von Rotwild. Ferretti et al. (2008) beschreiben, dass Dammhirsche Rehe von Weideplätzen verdrängen. Des Weiteren ist das Vorkommen von Fressfeinden ein weiterer wichtiger Parameter des Lebensraums. Panzacchi (2007) untersuchte die Bedeutung von Rotfüchsen (*Vulpes vulpes*) und deren Bejagung und beschreibt, dass neugeborene Rehe, die aus räuberfreien Lebensräumen stammten, lebenslange Fitnessvorteile erhielten. Ferner hat das Vorkommen von Luchsen (*Lynx lynx*) (Heurich et al. 2012; Andrén und Liberg 2015) und Wölfen (*Canis lupus*) (Mattioli et al. 2004) nachweislich eine negative Auswirkung auf das Wachstum von Rehpopulationen.

Klimatische Bedingungen wie z.B. Jahre mit vergleichsweise wenig Niederschlag im Sommer können einen negativen Einfluss auf Körpermasse der Kitze haben (Toïgo et al. 2006). Andere Autoren beschrieben einen negativen Effekt von mehr als fünf Regentagen (mehr als 5 mm/m²) im April sowie positive Effekte von hohen Temperaturen in diesem Monat auf das Gewicht der Kitze (Gaillard et al. 1993a).

1.6. Das Geweih des Rehbocks

1.6.1. Geweihe allgemein

Stirn Waffen treten innerhalb der Unterordnung der Wiederkäuer (*Ruminantia*) in vier der sechs bekannten Familien (Giraffenartige (*Giraffidae*), Hirsche (*Cervidae*), Hornträger (*Bovidae*) und Gabelhornträger (*Antilocapridae*)) auf (Davis et al. 2011). Gemeinsam haben die Schädelanhänge aller genannten Familien, dass sie paarig und vorwiegend symmetrisch an der Stirn liegen und einen knöchernen Kern besitzen, der während des Wachstums von Haut und Bindegewebe bedeckt ist (Davis et al. 2011).

Die Hörner der Giraffenartigen bestehen aus knöchernen Fortsätzen, die mit Haut und Fell bedeckt sind (Bubenik und Bubenik 1990; Davis et al. 2011). Die Hörner der Boviden werden von einem knöchernen Knochenkern mit scheidenartiger Keratinhülle gebildet. Sowohl die Hörner der Boviden als auch die der Giraffenartigen werden niemals abgeworfen (Dove (1935) zitiert nach Davis et al. (2011)). Die Hörner der Familie der Gabelhornträger, von der heute nur noch die Art der Gabelböcke (*Antilocapra americana*) existiert, werden von Fortsätzen des Stirnbeins gebildet, die mit Keratinscheiden behüllt sind, wobei die Keratinhüllen jährlich abgeworfen werden und sich jährlich unter einer bastähnlichen Haut erneuern (Bubenik und Bubenik 1990; Davis et al. 2011).

Die Geweihe der Cerviden besitzen fertiggestellt weder einen Keratin- noch einen Hautüberzug und bestehen aus freiliegendem Knochen. Sie sind die einzigen Stirn Waffen, die jährlich einschließlich des Knochens abgeworfen und erneuert werden (Price et al. 2005; Kierdorf und Kierdorf 2011; Davis et al. 2011; Wang et al. 2019). Mit der Fähigkeit zur vollständigen Regeneration eines Organs ist das Geweihwachstum der Cerviden in der Klasse der Säugetiere einzigartig (Kierdorf und Kierdorf 2011; Li et al. 2014; Wang et al. 2019).

Geweihe entwickeln sich saisonal aus permanenten Apophysen des Stirnbeins (*os frontale*), den Rosenstöcken (*proc. cornu cervi*) (Kierdorf und Kierdorf 2002; Kierdorf et al. 2013). Sie sind bei allen Cerviden mit Ausnahme des chinesischen Wasserrehs (*Hydropotes inermis*) vorhanden und werden in der Regel nur von männlichen Tieren getragen (Kierdorf et al. 2013). Beim Ren (*Rangifer tarandus*) tragen auch weibliche Tiere ein Geweih, welches jedoch kleiner ist als das der Männchen (Kierdorf et al. 2013).

Geweihe zeigen große interspezifische Unterschiede in Form und Größe. Bei den

existierenden Hirscharten reichen sie vom kleinen Geweih (ca. 5 - 9 cm) der Gattung Pudu (*Pudu*) bis zum ca. 140 cm großen, mehrendigen Geweih des adulten Wapitis (*Cervus canadensis*) (Landete-Castillejos et al. 2019). Die größten bekannten Geweihe sind die des ausgestorbenen Riesenhirsches (*Megaloceros giganteus*) mit einer Geweihspannweite von bis zu 3,5 m und einer Geweihmasse von bis zu 45 kg (Lister (1994) zitiert nach Landete-Castillejos et al. (2019)). Das Geweih des Rehbocks wird jagdumgangssprachlich als Gehörn, Gewicht oder Krone bezeichnet, zoologisch spricht man von Rehgeweih. Das Geweih besteht aus zwei Stangen, die mit rundem bis ovalem Querschnitt bei adulten Böcken in Mitteleuropa durchschnittlich 15 bis 20 cm lang werden (Stubbe 2008).

Je nach der Verzweigung werden die Rehgeweihe Spießer (einendig), zweiendige Gabler (zwei Enden je Stange) und Sechser (drei Enden je Stange) genannt (siehe Abb. 7), sehr selten kommen Achter, Zehner usw. vor. Wenn die Endenzahlen beider Stangen übereinstimmen, spricht man von geraden Gablern bzw. Sechsern usw., stimmen sie nicht überein werden sie als ungerade Gabler bzw. Sechser usw. bezeichnet, wobei die Stange mit der höheren Endenzahl zugrunde gelegt wird (Stubbe 2008).

An der Geweihbasis direkt oberhalb der Rosenstöcke befindet sich ein ringförmiger knöcherner Grat, die sogenannte Rose (Landete-Castillejos et al. 2019).



Abbildung 7: Darstellung der Geweihetypen; v. l. n. r. Knopfbock, Spießer, Gabler und Sechser

1.6.2. Funktion des Geweihs

Rehe prägen, wie bereits erwähnt, im Vergleich zu anderen Cerviden nur einen

geringen Sexualdimorphismus aus (Geist 1998; Andersen et al. 1998). Die Geweihe der Böcke sind die äußerlich auffälligsten sekundären Geschlechtsmerkmale und dienen den männlichen Tieren während der Fortpflanzungsperiode zu territorialen Markierungen, intraspezifischen Kämpfen mit anderen Männchen sowie zum Imponieren der Weibchen (Clutton-Brock 1982).

In engem Zusammenhang damit dienen sie als Indikatoren für die Stärke und Kampffähigkeit im Kampf gegen andere Männchen und helfen, Kämpfe zu vermeiden (Vanpé et al. 2010). Geißen können die Geweihe bei der Partnerwahl als zuverlässige Signale nutzen, die die sexuelle Vitalität und die genetische Qualität des Männchens widerspiegeln (Vanpé et al. 2007). Die phänotypisch stärksten Böcke können größere und qualitativ bessere Territorien verteidigen, die dann wiederum von den Geißen bevorzugt werden (Vanpé et al. 2010). Neben der Körpermasse des Rehwildes beeinflusst in geringerem Maße auch die Geweihgröße nachweislich den männlichen Fortpflanzungserfolg (Vanpé et al. 2010). Die Bevorteilung von Individuen guter Geweihentwicklung stellt eine Form der natürlichen Selektion zur Erhaltung genetisch stabiler Populationen dar (Santiago Moreno et al. 2001).

1.6.3. Jahreszyklus und hormonelle Steuerung des Geweihwachstums

Die endokrinen Mechanismen, die die jahreszeitliche Entwicklung des Geweihs regulieren, stehen in engem Zusammenhang mit den Mechanismen, die bei Cerviden zur Kontrolle der reproduktiven Saisonalität der Fortpflanzung beitragen. In diesem Sinne sind der jährliche Zyklus des Abwurfs und der Regeneration des Geweihs sowie die Perioden der Aktivierung und Latenz des Geweihwachstums bei Cerviden mit den verschiedenen Perioden des jährlichen Fortpflanzungsaktivitätszyklus, insbesondere mit dem saisonalen Zyklus der Hodenaktivität und der Schwankung der Testosteronkonzentration im Blut verknüpft (Goss 1983; Santiago Moreno et al. 2001; Barth et al. 1976).

Böcke zeigen einen biphasischen Verlauf des Testosteronspiegels während des Jahres. Von Januar bis April steigt die Konzentration stark an, woraufhin ein leichter Abfall bis Anfang Juni folgt. Daraufhin steigt die Konzentration im Blut bis zum Beginn der Blattzeit wieder an. Ab August sinkt der Testosteronspiegel dann wieder bis Januar (Barth et al. 1976).

Das Geweihwachstum fällt zusammen mit einer niedrigen Testosteronkonzentration Oktober/November bis März. Der Anstieg des Hormons

bis April führt zur intensiven Verknöcherung des Geweihs und zum anschließenden Fegen der Basthaut zwischen Ende März und Anfang Mai (Barth et al. 1976; Santiago Moreno et al. 2001; Landete-Castillejos et al. 2019). Letzterer Prozess führt zu einer Unterbrechung der Blutversorgung, die hauptsächlich über die Gefäßschicht des Bastes erfolgt und in der Folge zum Absterben des knöchernen Organs (Waldo et al. 1949). Nach der Blattzeit löst der Abfall des zirkulierenden Testosterons eine osteoklastische Aktivität im distalen Rosenstock aus (Kierdorf et al. 2013; Santiago Moreno et al. 2001; Barth et al. 1976). Die osteoklastische Resorption tritt auch an der Periostfläche des Rosenstocks auf, wodurch eine ringförmige Furche entsteht. Beide Prozesse führen zu einer fortschreitenden Schwächung der Verbindung zwischen Rosenstock und Geweih, was schließlich im Abwurf während des Zeitraums von Oktober bis November mündet (Kierdorf et al. 2013).

Bockkitze, die zum Ende des ersten Winters über 16 kg schwer sind, schieben zumeist bereits im ersten Lebensjahr ein Kitzgeweih. Bockkitze, die zu diesem Zeitpunkt erst 12 kg oder weniger auf die Waage bringen, schieben dagegen in der Regel erst im zweiten Lebensjahr ihr erstes Geweih (Sempere et al. 1996).



Abbildung 8: Geiß mit Knopfbock-Kitz, Oktober 2018; © A.M. Scholz

Das Kitzgeweih im ersten Lebensjahr, fast immer ein Knopfgeweih (siehe Abb. 8) oder kurze Spießer (siehe Abb. 9), wächst im August und wird von November bis Dezember gefegt.



Abbildung 9: Bockkitz im ersten Lebensjahr mit kurzen Spießern - schon gefegt, September 2013; © A.M Scholz

Ende Januar wird das Kitzegehwie abgeworfen. Darauffolgend beginnt das Gehwiewachstum jedes Jahr gleich nach dem Abwerfen des vorherigen Gehwiehs. Das Jährlingsgehwie wird Mitte April nach einer Kolbenzeit (Zeit des Gehwiehs unter Bast) von durchschnittlich 71 Tagen gefegt und im Dezember des zweiten Lebensjahres abgeworfen (Barth et al. 1976).

Bei adulten Tieren wird das Gehwie zwischen Oktober und Dezember abgeworfen, daraufhin wächst das neue Gehwie unter Bast bis es im Zeitraum von März bis Mai gefegt wird (Brockstedt-Rasmussen et al. 1987; Sempere et al. 1996).

Es gibt mehrere Theorien, die zu erklären versuchen, warum Gehwiehe periodisch geworfen und regeneriert werden (Goss 1983). Der Hauptgrund für ihre jährliche Regeneration ist höchstwahrscheinlich die Tatsache, dass es sich bei hartem gefegtem Gehwie (d.h. Gehwie, von dem der Bast abgeworfen wurde) um tote knöcherne Strukturen handelt (Landete-Castillejos et al. 2019). Es gibt klare Hinweise darauf, dass das Gehwie kurz nach dem Bastabwurf aufgrund von Ischämie abstirbt (Waldo et al. 1949; Currey et al. 2009), womit eine Regeneration von durch Kämpfe entstandene Schäden unmöglich ist. Eine periodische Gehwiegeneration stellt in jeder Blattzeit einen "frischen Satz" Waffen zur Verfügung (Landete-Castillejos et al. 2019). Eine Zunahme an Größe und Verzweigung mit zunehmendem Alter des Tieres ist ohne periodische Regeneration

nicht möglich, da das abgestorbene Geweih zu keinem Wachstum mehr fähig ist (Landete-Castillejos et al. 2019).

Die Alternative, ein zum Beispiel dauerhaft von Bast bedecktes Geweih, das nicht absterben würde, wäre darüber hinaus nicht nur anfällig für Verletzungen durch Kämpfe (Landete-Castillejos et al. 2019), sondern auch für Erfrierungen. Zudem wären dauerhaft lebensfähige bastbedeckte Geweihe angesichts der reichen Nervenversorgung und Empfindlichkeit der Basthaut als Kampfstrukturen völlig ungeeignet (Goss 1983). Arten aus gemäßigten Klimazonen, die permanent lebende, mit Bast bezogene Geweihe tragen, wären durch das hohe Oberflächen-Volumen-Verhältnis von verzweigten Geweihen einem übermäßigen Wärmeverlust und sogar der Gefahr des Erfrierens ausgesetzt (Landete-Castillejos et al. 2019).

1.6.4. Wachstum und Aufbau

Geweihe entwickeln sich als Verlängerungen aus den Rosenstöcken, paarweisen permanenten Apophysen der Stirnbeine (Landete-Castillejos et al. 2019). Die Rosenstöcke entwickeln sich neben der Frontoparietalnaht im hinteren Bereich eines niedrigen Knochenkamms, der sich vom supraorbitalen Rand in posteromedialer Richtung erstreckt (Kierdorf und Kierdorf 2002). Das Rosenstockwachstum erfolgt beim Reh vollständig durch desmale Ossifikation, bei größeren Cerviden wie Dam- oder Rotwild findet bereits während des frühen Wachstums ein Wechsel von desmaler zur chondraler Ossifikation statt (Ceacero 2016).

Das Geweihwachstum wird im ersten Lebensjahr durch einen Anstieg des zirkulierenden Testosteronspiegels ausgelöst (Goss 1983). Die Entwicklung des Rosenstocks ist von dem über der mutmaßlichen Rosenstocklokalisation liegenden Stirnbeinperiost abhängig (Hartwig und Schrudde 1974). Goss (1983) bezeichnete dieses Gewebe als antlerogenes Periost. Dieses antlerogene Periost ist wesentlich dicker als das Periost in anderen Regionen des Schädels (Kierdorf et al. 1994). Wird es entfernt, kann kein Geweihwachstum stattfinden (Goss 1983), wird es an eine andere Körperstelle transplantiert, wachsen ektopische Rosenstock- und Stangenansätze an diesen Lokalisationen (Hartwig und Schrudde 1974). In verschiedenen Studien konnte gezeigt werden, dass Zellen des aus dem antlerogenen Periost hervorgehenden Rosenstockperiosts Stammzeleigenschaften besitzen, die Geweihregeneration wurde daher als ein auf Stammzellen basierender

Prozess charakterisiert (Landete-Castillejos et al. 2019).

Während des Wachstums sind die Stangen von Basthaut bedeckt (siehe Abb. 10).



Abbildung 10: Bock im Bast, Februar 2021

Die Basthaut ist eine Fortsetzung der Epidermis des Kopfes und wächst nach Abwurf der Stangen durch Invagination von den Wundrändern aus. Die Basthaut unterscheidet sich jedoch in mehreren Aspekten von der Haut in anderen Kopffregionen. Ihr fehlen Schweißdrüsen, sie ist dicker als normale Kopfhaut, den Haarfollikeln fehlt die Arrector-Pili-Muskulatur. Zudem ist sie reich an großen Talgdrüsen (Santiago Moreno et al. 2001; Landete-Castillejos et al. 2019).

Geweih sind die am schnellsten wachsenden knöchernen Strukturen im Tierreich mit einem Wachstum beim Wapiti von bis zu 2,75 cm pro Tag (Li et al. 2014; Landete-Castillejos et al. 2019). Wang et al. (2019) fanden bei der Untersuchung von Genexpressionsprofilen wachsender Geweihe eine größere Ähnlichkeit zu solchen von Osteosarkomen als zu denen von anderen knöchernen Geweben.

Die Art der Knochenbildung im wachsenden Geweih kann als eine Form der chondralen Ossifikation charakterisiert werden, an der sowohl endochondrale als auch perichondrale (intramembranöse) Prozesse beteiligt sind (Landete-Castillejos et al. 2019). An der Spitze des wachsenden Geweihs sowie nach Verzweigung an den Spitzen der Geweihenden befindet sich eine mesenchymale Wachstumszone (Kierdorf et al. 2013). Nach der Differenzierung der mesenchymalen Vorläuferzellen zu Chondroblasten formen diese proximal hyalinen Knorpel (Kierdorf et al. 2013).

Dieser besteht aus längsgerichteten, verzweigten Trabekeln, die durch Blutgefäße

und perivaskuläres Bindegewebe getrennt sind. In den Trabekeln befinden sich wiederum mesenchymale Zellen, die zu Chondro- oder Osteoblasten differenzieren können. Sie nehmen an Dicke zu und die Knorpelmatrix mineralisiert, woraufhin der Knorpel resorbiert und Faserknochen gebildet wird (Krauss et al. 2011).

Die Ablagerung von Kalziumsalzen wird intrazellulär auf mitochondrialer Ebene initiiert (Santiago Moreno et al. 2001). Die kombinierten chondroklastischen und osteoblastischen Aktivitäten führen dazu, dass das ursprünglich knorpelige Gerüst durch ein knöchernes ersetzt wird, welches die gleiche Ausrichtung aufweist (Kierdorf et al. 2013). Zusätzlich zur endochondralen Ossifikation entsteht eine Knochenmanschette entlang der Peripherie des sich bildenden Geweihs durch perichondrale/periostale appositionelle Ossifikation (Price et al. 2005). Gomez et al. (2013) haben bei Rothirschgeweihen nachgewiesen, dass in der späten Wachstumsphase in proximalen Geweihanteilen eine äußere kortikale Schicht unter dem Periost gebildet wird, welche in distalen Abschnitten fehlt. Mit der Auskleidung der intertrabekulären Hohlräume in der Peripherie des Geweihs mit primären Osteonen entsteht unter allmählichen Verdichtung die kompakte Kortikalis des Geweihs (Krauss et al. 2011; Gomez et al. 2013). Geweihen fehlt eine zentrale, verlängerte Markhöhle, stattdessen besteht der zentrale Teil des Geweihschaftes aus spongiossem Knochen (Kierdorf et al. 2013). Zwischen Kortikalis und Spongiosa befindet sich eine schmale Übergangszone (Davis et al. 2011; Kierdorf et al. 2013).

Die Kortikalis kann in eine dünne äußere Kortikalis mit einem deutlich höheren Mineralanteil und eine innenliegende Hauptkortikalis unterteilt werden. Die Kompakta der Kortikalis besteht aus einem röhrenförmigen Gerüst von Trabekeln aus Faserknochen mit einigen Resten mineralisierten Knorpels. Lamellenknochen kleidet diese Trabekel aus und füllt die intertrabekulären Räume. Die Spongiosa wird genauso durch mit Lamellenknochen ausgekleidete Trabekel aus Faserknochen gebildet, die jedoch weniger stark mineralisiert sind (Kierdorf et al. 2013).

Reste mineralisierten Knorpels befinden sich gelegentlich innerhalb des trabekulären Gerüsts der Hauptkortikalis, diese sind ein Hinweis auf einen unvollständigen Ersatz des Knorpels durch Knochen im Prozess der endochondralen Ossifikation (Landete-Castillejos et al. 2019). Ihre Persistenz wird auf die Schnelligkeit des Geweihwachstums zurückgeführt (Landete-Castillejos et al. 2019). Sekundäre Osteonen finden sich nur in geringer Anzahl im Geweih, was

der kurzen Lebensdauer dieser Strukturen geschuldet ist (Krauss et al. 2011; Gomez et al. 2013; Kierdorf et al. 2013).

1.6.5. Zusammensetzung, Mineralisierung und Dichte

Die grobe Zusammensetzung von Geweihen aus Hydroxylapatit, Kollagen, nicht-kollagenen Proteinen und Wasser ist im Grunde ähnlich wie bei anderen Knochen (Currey 2002; Gomez et al. 2013). Geweihe enthalten einen höheren Anteil organischer Masse und weniger Mineralien als andere knöchernen Strukturen (Currey 2002). Currey (1999) verglich 32 Knochentypen diverser Arten. Von diesen hatte das Geweih des Rothirsches mit 59 % den geringsten Mineralvolumenanteil. Dies spiegelt sich auch in dem vergleichsweise sehr niedrigen Aschegehalt von Geweihen wider (Currey et al. 2009). Landete-Castillejos et al. (2010) untersuchten Rothirschgeweihe mittels DXA und fanden heraus, dass die Knochenmineraldichte der Geweihkortikalis im Vergleich zur Kortikalis anderer Knochen niedrig ist.

Die Menge an Mineralien im Gewebe ist die Hauptdeterminante der mechanischen Eigenschaften von Knochen (Currey 1999). Ein niedriger Mineralgehalt in knöchernem Gewebe geht zwar mit verringerter Steifheit und Biegefestigkeit einher, steigert jedoch die Dehnbarkeit und die Brucharbeit (Currey 1999; Currey 2002). Die Brucharbeit beschreibt die Kraft, die benötigt wird, um einen Riss im Gewebe zu verursachen und vermittelt eine gute Vorstellung von der Schlagfestigkeit des Knochens (Currey 1999). Innerhalb des Gewiehgewebes ist die Mineralisierung sehr unterschiedlich verteilt, den höchsten Anteil an Mineralien enthält die Kortikalis mit Überresten mineralisierten Knorpels (Kierdorf et al. 2013).

Das gefegte Geweih kann als dickwandige Röhre betrachtet werden, die aus der peripheren Kortikalis und der zentralen Spongiosa besteht, wobei sich beide in Porosität und Knochenmasse unterscheiden (Landete-Castillejos et al. 2019). Bei Rotwild weist die Kortikalis eine Porosität von weniger als 5 % auf, verglichen mit mehr als 60 % bei spongiösem Knochen (Landete-Castillejos et al. 2019). Beim Geweih des Rothirsches stellt die Kortikalis im Durchschnitt 73 % (54 - 84 %) des mineralisierten Gewebes dar, die Dichte der Kortikalis nimmt von proximal nach distal ab (Landete-Castillejos et al. 2019).

Bei Rehen macht die Geweihmasse bis zu 23 % der Masse des Trockenskeletts aus, das Verhältnis von Geweihmasse zu Körper- bzw. Skelettmasse übersteigt das

vieler größerer Hirscharten (Ceacero 2016).

Das Knochenmineral besteht vorwiegend aus karbonisiertem Hydroxylapatit ($\text{Ca}_5[\text{OH}](\text{PO}_4)_3$) mikrokristallinen Charakters, dessen Kristallgröße sich der Auflösung der Lichtmikroskopie entzieht (Landete-Castillejos et al. 2019). Auf die einzelnen Makro- und Spurenelemente bezogen, besteht der Asche- bzw. Mineraliengehalt hauptsächlich aus Kalzium (Ca) und Phosphat (P) (Pathak et al. 2001). Eine Übersicht der Mineralprofile von Geweihen freilebender Böcke aus Tschechien ist in Tab. 1 dargestellt.

Tabelle 1: Mineralprofile von Geweihen ausgewachsener Böcke am Beispiel einer freilebenden Population aus Tschechien; modifiziert nach Cappelli et al. (2020)

Geweihbestandteile	Mittlere Anteile \pm Standardabweichung
Rohasche (%)	57,35 \pm 0,92
Ca (g/100g)	17,10 \pm 0,29
K (g/100g)	0,0250 \pm 0,0005
Mg (g/100g)	0,296 \pm 0,008
Na (g/100g)	0,472 \pm 0,006
P (g/100g)	11,27 \pm 0,21
S (g/100g)	0,265 \pm 0,003
Al (mg/kg)	17,17 \pm 0,52
Cr (mg/kg)	0,76 \pm 0,02
Fe (mg/kg)	18,91 \pm 2,87
Li (mg/kg)	3,31 \pm 0,15
Mn (mg/kg)	19,50 \pm 0,52
Sr (mg/kg)	172,88 \pm 11,37
Tl (mg/kg)	27,87 \pm 0,72
Zn (mg/kg)	57,81 \pm 2,17
Ca/P	1,52 \pm 0,01

Ca = Calcium; K = Kalium; Mg = Magnesium; Na = Natrium; P = Phosphor; S = Schwefel; Al = Aluminium; Cr = Chrom; Fe = Eisen; Li = Lithium; Mn = Mangan; Sr = Strontium; Tl = Thallium; Zn = Zink; Ca/P = Calcium-Phosphor-Verhältnis

Die Knochenmineralisierung wird klassischerweise als ein biphasischer Prozess beschrieben, der aus der anfänglichen Ablagerung des Kalziumphosphat-Minerals besteht, gefolgt von der allmählichen Reifung des Knochenminerals mit Zunahme von Anzahl und Größe der Kristalle (Bala et al. 2013). Die sekundäre

Mineralisierung von Knochengewebe ist ein sehr langsamer Prozess, es dauert Monate bis Jahre, bis der maximale Mineralisierungsgrad erreicht ist (Landete-Castillejos et al. 2019). Angesichts der kurzen Lebensdauer von Geweihen bedeutet dies, dass die Mineralisierung nicht so vollständig sein kann wie die von anderen, nicht zu Geweihen zählenden Knochen (Landete-Castillejos et al. 2019).

In Anbetracht der hohen Investitionen von Mineralien in das Geweihwachstum ist davon auszugehen, dass Böcke den Mineralstoffgehalt nicht ausschließlich über die Nahrungsaufnahme decken können. Der Darmtrakt ist nicht in der Lage, die notwendigen Mengen an Mineralien in relativ kurzer Zeit aufzunehmen. Folglich muss der Bock den Bedarf auf andere Weise decken, z.B. durch Resorption von Mineralien aus Knochen (Brockstedt-Rasmussen et al. 1987).

Dass diese hohen Investitionen an Mineralien nicht alle unmittelbar während des Beginns des Wachstums mobilisiert werden können, zeigten Brockstedt-Rasmussen et al. (1987), die bei bastbedeckten Geweihen eine erhöhte Porosität nachwiesen. Die Geweihe werden demnach zunächst nur mit reduzierter Mineralisierung unter der Basthaut gebildet, erst im Lauf der Kolbenzeit werden nach und nach Mineralien in das Geweih eingelagert.

1.6.6. Bisher verwendete Indikatoren der Geweihbewertung

Neben der Körpermasse der Tiere werden viele weitere Indikatoren zur Beurteilung der individuellen Kondition von Rehen verwendet. Der Hypothese, dass Geweihe ontogenetische Qualitätsindikatoren von Rehböcken darstellen, wurde in der Vergangenheit besondere Aufmerksamkeit geschenkt. So werden Geweihe als ein wertvolles Instrument zur Beurteilung der Leistung einer Population und ihrer Umweltbedingungen angesehen (Vanpé et al. 2010; Cappelli et al. 2020).

In der Literatur finden sich verschiedene Ansätze, Geweihe und ihre Qualität anhand unterschiedlicher Merkmale zu bewerten. Eine Reihe von Autoren benutzten als Bewertungsgrundlage die Geweihmasse (Lehoczki et al. 2011; Wajdzik et al. 2016; Czyżowski et al. 2018). Andere wiederum gebrauchten morphologische Maße wie die Länge des Geweihs (Vanpé et al. 2007; Vanpé et al. 2010) bzw. die Geweihlänge in Relation zur Körpermasse (Vanpé et al. 2007). Brockstedt-Rasmussen et al. (1987) ermittelten die Porosität von Geweihen anhand mikroskopischer Schnitte.

Cappelli et al. (2020) untersuchten neben den morphologischen Maßen der Geweihe Querschnitte und kortikale Knochenproben von zwei definierten

Geweihpositionen, an denen mechanische Eigenschaften überprüft sowie die Kortikalisdicke und der Asche- und Mineralgehalt ermittelt wurden. Außerdem kalkulierten die Autoren die Knochendichte durch das Verhältnis des Gewichts einer getrockneten Kortikalis-Probe zum Volumen.

Für das Geweih des Rothirsches finden sich außerdem Studien mit radiologischen Methoden. So schätzten Estevez et al. (2008) neben Kortikalisdicke, Mineral- und Proteingehalt auch Unterschiede der Knochenmineraldichte zweier Populationen. Hierfür wurden die unteren Hälften der Geweihe geröntgt. Bei jeder Röntgenaufnahme wurde eine 15-stufige Aluminiumschablone als Referenzwert neben dem Geweih platziert. Die digitalen Röntgenbilder wurden dann mittels Software analysiert und die Opazität des Geweihs in 254 Schwärzegraden mit der der verschiedenen Stufen der Referenzschablone verglichen und auf einer Knochen-Aluminium-Skala bewertet (Estevez et al. 2008).

Landete-Castillejos et al. (2010) untersuchten bei Rothirschgeweihen neben mechanischen Eigenschaften, strukturellen Variablen (Gewicht, Länge, Anzahl der Sprossen und das Vorkommen von Geweihbrüchen) und mineralischer Zusammensetzung auch Geweihquerschnitte mittels DXA. Hierfür wurden aus vier definierten Geweihpositionen 1 cm dicke Querschnitte entnommen und deren Knochenmineraldichte gemessen. Außerdem wurde mittels DXA die Knochenmineraldichte von kortikalen Proben ermittelt (Landete-Castillejos et al. 2010).

1.6.7. Einflüsse auf das Geweihwachstum und die Geweihqualität

Insgesamt sind die Investitionen des Rehbocks in das Geweihwachstum verglichen mit denen anderer Cerviden moderat (Geist 1998). Trotzdem ist nach der Theorie des konditionsbedingten Nachteils (Iwasa et al. 1991) davon auszugehen, dass sekundäre Geschlechtsmerkmale wie Geweihe als Signale der männlichen Qualität stark konditionsbedingt und deren Erzeugung und Erhaltung insbesondere für Männchen schlechteren Zustands kostspielig sind (Vanpé et al. 2007).

Vanpé et al. (2007) beschreiben eine ausgeprägte altersspezifische Variation der Geweihgröße. Sie teilten die Geweihe in drei Klassen ein (Jährling, Primäralter, Senessenzstadium) und fanden eine Zunahme der Geweihgröße vom Jährling zum Primäralter (2 - 7 Jahre) sowie eine Abnahme der Geweihgröße ab dem achten Lebensjahr (Senessenzstadium). Wohlgenährte Böcke können auch in diesem Alter noch in das Geweihwachstum investieren. Schwache Böcke schieben in dem Alter

dagegen deutlich kleine Geweihe und ziehen sich aus der Territoriumsverteidigung zurück (Vanpé et al. 2007).

Neben genetischen Merkmalen und dem Alter beeinflussen auch die Populationsdichte, das Klima und die Qualität der verfügbaren Nahrung das Geweihwachstum der Rehe (Cappelli et al. 2020). Mit dem Gewicht des Tieres steigt auch die Größe des Geweihs (Gómez et al. 2006; Vanpé et al. 2007), somit haben auch alle in Kap. II. 1.5.2. erwähnten Einflüsse auf die Körpermasse indirekt Einfluss auf das Geweihwachstum.

Hohe Populationsdichten führen durch erhöhte intraspezifische Konkurrenz um Ressourcen zu einer Futterrestriktion und hemmen das ressourcenintensive Geweihwachstum (Santiago Moreno et al. 2001).

Das periodische Nachwachsen von Geweihen innerhalb weniger Monate stellt eine enorme physiologische Anstrengung dar und erfordert eine reiche Versorgung mit Mineralstoffen, insbesondere Calcium und Phosphor (Landete-Castillejos et al. 2019). In freier Natur sind häufig vor allem die Mineralien Natrium und Magnesium nur unzureichend verfügbar, sodass es zu Mangelsituationen kommen kann (Grunes und Welch 1989; Estevez et al. 2009). Eine Unterversorgung mit Mineralien im Futter kann zu einer unzureichenden Entwicklung des Geweihs führen (Santiago Moreno et al. 2001).

Die innere Struktur, die mineralische Zusammensetzung, die mechanischen Eigenschaften und die Histologie von Geweihen werden stark von den Umweltbedingungen, vor allem der Nahrungsmenge und -qualität während des Geweihwachstums beeinflusst (Landete-Castillejos et al. 2019). Ein gut ausgeprägtes Geweih kann als Indikator für einen Bock in gutem Ernährungszustand und als Indikator der Variation der Nährstoffverfügbarkeit zwischen verschiedenen Lebensräumen verwendet werden (Landete-Castillejos et al. 2007a; Landete-Castillejos et al. 2007b; Cappelli et al. 2020).

Cappelli et al. (2020) verglichen Rehgeweihe von Rehen aus einem spanischen Wildgehege mit ganzjährig guter Nahrungsverfügbarkeit und kontinuierlicher Mineralsupplementierung mit einer Gruppe aus einem tschechischen Jagdgebiet mit Nahrungskonkurrenten (Damwild), reduzierter Nahrungsverfügbarkeit im Winter und nur diskontinuierlicher Mineralsupplementierung. Die Rehe aus Spanien hatten ein schwereres und längeres Geweih als die tschechischen Rehe mit einem höheren Gehalt an Natrium und Mangan und einem niedrigeren Calcium-Phosphor-Verhältnis. Die Gehalte an Eisen, Kalium und Zinn waren bei der

freilebenden tschechischen Population höher, was auf erhöhten Nährstoffstress hinwies. Das Knochenmaterial der spanischen Böcke hatte eine höhere mechanische Qualität, obwohl die tschechischen Tiere die mechanischen Nachteile teilweise durch die Entwicklung einer dickeren Kortikalis ausgleichen konnten (Cappelli et al. 2020).

Landete-Castillejos et al. (2007b) fanden beim Rotwild auch Einflüsse der Ernährung auf den Aschegehalt und die Konzentrationen von Calcium und Phosphor. Im Gegensatz zu dem, was zuvor bei Rothirsch beobachtet worden war (Landete-Castillejos et al. 2007a; Landete-Castillejos et al. 2007b), wurden bei Rehgeweihen keine Unterschiede in der Mineralstoffzusammensetzung entlang der Längsachse beobachtet (Cappelli et al. 2020).

Estevez et al. (2008) beschreiben Einflüsse der Nahrungsqualität auf die Röntgendichte, Kortikalisdicke und den Aschegehalt. Sie verglichen Geweihe von Rotwild aus einer Versuchsfarm, ad libitum gefüttert mit mineralstoffreichem Futter, mit Artgenossen eines Wildbestandes aus einem futterarmen Lebensraum. Sowohl die Röntgenopazität als auch die Dicke der Kortikalis und der Aschegehalt waren bei der Population der Versuchsfarm signifikant höher (Estevez et al. 2008). Dass nicht nur die Verfügbarkeit und Qualität des Futters allgemein von Bedeutung ist, sondern auch wie bereits beschrieben die Versorgung mit hochwertiger Nahrung im Frühjahr zum Zeitpunkt der Laktation, zeigen mehrere Studien, die den Zusammenhang von Laktation und Geweihmerkmalen untersuchten. Ein hoher Anteil an Milchprotein führte zu einer Zunahme des Gewichts und der Länge des ersten Geweihs beim Rothirsch (Gómez et al. 2006). Die Tiere, die bei der Entwöhnung ein höheres Gewicht erreichten, entwickelten früher ein Geweih. Geweihe, die sich früher entwickelten, waren auch schwerer und hatten einen größeren Stangenumfang (Gómez et al. 2006).

Lehoczki et al. (2011) zeigten einen positiven Einfluss hoher Jodkonzentration des Grundwassers auf die Geweihmasse von Rehen. Die Autoren bringen dies mit den jodhaltigen Schilddrüsenhormonen in Zusammenhang, die eine wichtige Rolle bei der neurohormonalen Regulation der Geweihentwicklung spielen (Lehoczki et al. 2011).

Landete-Castillejos et al. (2010) zeigten den negativen Einfluss von sehr kalten Wintern auf Geweihe von Rothirschen, wahrscheinlich Folgen einer sekundär durch Klimaschwankungen verursachte Änderung der Mineralstoffzusammensetzung in den Futterpflanzen. Die Autoren beobachteten

eine Reduktion an Mangan und Natrium sowie einen erhöhten Anteil an Silicium in den Futterpflanzen im Rahmen eines sehr kalten Winters. Die Folgen waren eine verringerte Geweihmasse, eine dünnere Kortikalis, ein verringerter Schaftdurchmesser und eine geringere Knochenmineraldichte. In Jahren eines sehr kalten Winters wurden deutlich mehr Geweihbrüche beobachtet. Neben den in der Nahrung verringerten Mineralien waren im Geweih auch die Konzentrationen von Calcium und Phosphor verringert (Landete-Castillejos et al. 2010).

Neben einer Unterversorgung kann auch die Nutzung falscher Nahrungsressourcen negative Auswirkungen haben. Roblick (2018) beschreibt das Vorkommen Osteoporose-ähnlicher Ossifikationsstörungen mit Kalziumverlust des Schädelknochens bei Rehwild. Der Autor verglich dabei niedersächsische und österreichische Geweihe und verband dies mit der Messung des pH-Wertes im Pansen und dem Vorhandensein von Zufütterung. Es wurden Zusammenhänge zwischen einer kohlenhydratreichen Zufütterung, Pansenazidosen und einer mithilfe der CT-Densitometrie ermittelten verminderten Knochendichte des Schädels bei den österreichischen Böcken beobachtet (Roblick 2018). Inwiefern diese Prozesse auf das Geweih übertragbar sind, ist unklar.

Zwei Studien setzen sich mit dem Einfluss des Waldanteils auf Geweihe auseinander. Wajdzik et al. (2016) untersuchte neben Einflüssen auf die Körpermasse auch den Einfluss von Walddichte des Lebensraums auf die Geweihmasse. Für die durchschnittliche Geweihmasse wurden die höchsten durchschnittlichen Werte (300 g) in typischen Feldrevieren (< 20 % Waldanteil) und die niedrigsten (246 g) in Gebieten mit mehr als 40 % Wald ermittelt. Die signifikanten Unterschiede zogen sich durch fast alle Altersklassen, nur bei Böcken, die älter als 7 Jahre alt waren, wurden keine signifikanten Unterschiede beobachtet. Die Autoren konnten außerdem einen Einfluss der Bodenqualität auf die Geweihmasse nachweisen (Wajdzik et al. 2016).

Czyżowski et al. (2018) verglichen neben der Körpermasse nach dem Ausweiden die Geweihmasse der vier bis sieben Jahre alten Böcke aus fünf unterschiedlichen Regionen Polens und ermittelten ähnliche Ergebnisse. Die höchste durchschnittliche Geweihmasse mit 436 g (302 - 484 g) wurde in einem Revier mit dem höchsten Indikator landwirtschaftlicher Produktion (82,1 Punkte), dem niedrigsten Waldanteil (13,2 %), der höchsten Waldfragmentierung (3,3 km/km²), dem niedrigsten Anteil Nadelwald mit 12,9 % (4,5 % reiner Nadelwald + 8,4 % Nadelmischwald) sowie dem höchsten Anteil Laubwald mit 86,7 % (68,5 % reiner

Laubwald + 18,2 % Laubmischwald) gemessen. Die niedrigsten Werte mit 167 g (147 - 200 g) wurden in einem Revier mit dem niedrigsten Indikator landwirtschaftlicher Produktion (62,2 Punkte), dem höchsten Waldanteil (46,6 %), der niedrigsten Waldfragmentierung (1,0 km/km²), dem höchsten Anteil Nadelwald mit 81,4 % (42,3 % reiner Nadelwald + 39,1 % Nadelmischwald) sowie dem niedrigsten Anteil Laubwald mit 17,5 % (1,6 % + 15,9 % Laubmischwald) ermittelt (Czyżowski et al. 2018).

Wie bereits für den Einfluss auf die Körpermasse erwähnt, lassen sich auch für den Einfluss auf das Geweihwachstum die Nachteile walddreicher Regionen auf das reduzierte Vorkommen hochenergetischer Nahrungsressourcen im Frühjahr zurückführen (Pettorelli et al. 2003; Heinze et al. 2011), die für das Reh als Konzentratsselektierer und Ertragszüchter von besonderer Bedeutung sind.

2. Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie (DXA)

Die Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie (DXA) ist eine für die Humanmedizin entwickelte radiologische Untersuchungsmethode zur Ermittlung der Knochenmineraldichte (Blake und Fogelman 1997). In der Humanmedizin dient die Knochenmineraldichtemessung insbesondere der Diagnostik und Therapieüberwachung von Osteoporose (Laskey und Phil 1996; Ryan 1997). Neben der Knochenmineraldichte (BMD) und Knochenmineralmenge (BMC) kann mit DXA auch die Körperzusammensetzung aus Fettgewebe, Weichgewebe und Knochenmineralgewebe des gesamten Körpers oder einzelner Regionen berechnet werden (Laskey und Phil 1996). DXA gilt als Methode der Wahl zur Bestimmung der Körperzusammensetzung *in vivo* (Pietrobelli et al. 1996; Scholz 2002).

2.1. Aufbau eines DXA-Gerätes

Ein DXA-Gerät besteht aus einem Scannerarm und einem Untersuchungstisch (siehe Abb. 11). Die Röntgenquelle befindet sich entweder im Scannerarm oder eingebaut unter dem Untersuchungstisch (z.B. GE Lunar *iDXA*).



Abbildung 11: GE Lunar *iDXA*-Gerät im Lehr- und Versuchsgut Oberschleißheim

Ein Detektor liegt der Röntgenquelle gegenüber, dazwischen ist der Untersuchungstisch, auf dem das Untersuchungsobjekt Platz findet. Nachdem die emittierten Röntgenstrahlen das Untersuchungsobjekt durchdrungen haben, werden die nicht absorbierten Röntgenstrahlen (Röntgenphotonen) vom Detektor gemessen. Eine genaue Beschreibung der Technik findet sich in der Dissertationsschrift von Wenczel (2013). Die unter dem Tisch befindliche

Funktionseinheit (Röntgenquelle oder Detektor) und der Scannerarm (mit der jeweils anderen Funktionseinheit) bilden eine bewegliche Einheit entlang des Tisches und stehen in einer Ebene (GE Healthcare).

2.2. Funktionsweise

Das Grundprinzip der Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie besteht in der gewebeabhängig variierenden Schwächung polyenergetischer Röntgenstrahlen, wodurch der Gehalt und die Verteilung von Knochenmineralien sowie von Fett- und Magerweichgewebe im Gesamtkörper oder ausgewählten Körperregionen mit Hilfe einer speziellen Software beziffert werden (Pietrobelli et al. 1996; Scholz et al. 2002). Die Schätzung der Körperzusammensetzung steht unmittelbar nach Abschluss der Untersuchung zur Verfügung, allein eine Auswahl der interessierenden Regionen erfordert je nach Anzahl und anatomischer Spezifizierung dieser eine manuelle Bearbeitung zur Quantifizierung der 2D-Gewebeverteilung (Scholz et al. 2015). Hierfür wird durch eine Röntgenquelle erzeugte Strahlung mit zwei Photonenenergieniveaus zum Beispiel von 38 keV und 70 keV verwendet (Scholz et al. 2002). Die DXA-Methode beruht auf einem Drei-Komponenten-Modell (siehe Abb. 12) für die Gewebezusammensetzung bei welchem zwischen Fett- und Magergewebe als Weichgewebe auf der einen und Knochengewebe auf der anderen Seite (siehe Abb. 12) unterschieden wird (Scholz et al. 2002).

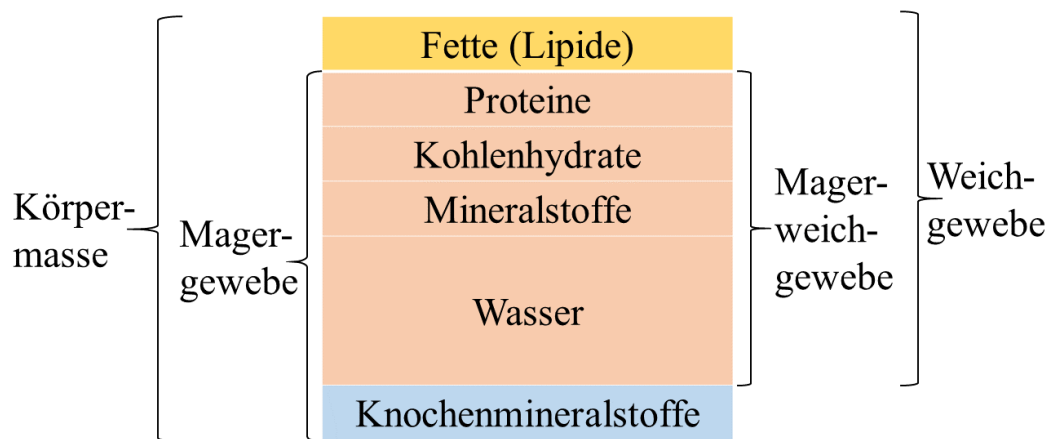


Abbildung 12: Drei-Komponenten Modell der Körperzusammensetzung für DXA-Untersuchungen (Fettgewebe, Magerweichgewebe und Knochengewebe); modifiziert nach (Scholz et al. 2002)

Nach dem Scan entsteht ein zweidimensionales Bild, welches der Definition der interessierenden Regionen (ROI = region of interest) dient. Anhand der zwei Photonenenergieniveaus der verwendeten Strahlung können direkt nur die

Masseanteile zweier Komponenten bestimmt werden. Die Bildpunkte (Pixel = Picture elements) werden zunächst mithilfe komplexer Algorithmen aufgeteilt in solche, die nur Weichgewebe (Fett- und Magerweichgewebe) enthalten und solche, die sowohl Weichgewebe als auch Knochengewebe beinhalten (Laskey und Phil 1996; Scholz et al. 2002).

Zu diesem Zweck wird der Röntgenschwächungskoeffizient (R-Wert) verwendet, dieser ist je nach Gewebe unterschiedlich und liegt bei den verwendeten Photonenenergieniveaus von 38 keV und 70 keV für Weichgewebe bei ca. 1,35, für Fettgewebe bei ca. 1,2 und für Knochenmineral bei $> 2,8$. Dank dieser hohen Differenzen der R-Werte zwischen Knochen- und Weichgewebe kann softwaregestützt zwischen den Bildpunkten, die Knochenmineral enthalten und solchen, die nur Weichgewebe enthalten, unterschieden werden (Scholz et al. 2002; Crabtree und Leonard 2007).

Um Knochenmineral hierbei von Weichteilmineral zu unterscheiden, welches ähnliche R-Werte aufweist, wird für Knochenbildpunkte davon ausgegangen, dass sie den anatomischen Grundvoraussetzungen entsprechend nur zusammenhängend in „Clustern“ und nicht einzeln ohne Zusammenhang zum restlichen Knöchensystem vorkommen. Zur Errechnung der Fettmasse gleichfalls wird eine spezielle Software mit Schätzgleichungen zuvor ermittelter und beschriebener R-Werte benötigt, da Bildpunkte, welche aus Weichgewebe bestehen, zumeist sowohl aus Magerweichgewebe als auch aus Fettgewebe bestehen. Wenn kein Knochen vorhanden ist, ist das Verhältnis der Dämpfung der Strahlung beider Energieniveaus linear zum Fettanteil im Weichgewebe. Die Gewebezusammensetzung in den Bildpunkten, in denen Knochen nachgewiesen wird, kann nur aus den umliegenden Bereichen extrapoliert werden, die nur Weichgewebe enthalten. So werden die Schätzungen der knochenmineralischen, fetthaltigen und fettfreien Massen durch wiederholte Datenerfassung über die gesamte Scanlänge aufgebaut (Laskey und Phil 1996; Scholz et al. 2002).

Grundsätzlich wird für die DXA-Methodik ein konstanter Wassergehalt des fettfreien Gewebes von 73 - 74 % angenommen. Weicht das Gewebe von Menschen oder Tieren alters- oder krankheitsbedingt von diesem Wert ab, kann es zu Diskrepanzen der ermittelten Werte der DXA-Untersuchung mit Werten der chemischen Analyse kommen (Scholz 2002; Pietrobelli et al. 1996; Laskey und Phil 1996). Weicht der Fettgehalt weniger als 5 % von den grundsätzlich veranschlagten Werten ab, liegt der Schätzfehler der Ermittlung des Fettgewebes unter 1 % und ist

damit nicht signifikant (Pietrobelli et al. 1996).

Eine weitere Quelle für Diskrepanzen zwischen Ergebnissen von DXA und chemischer Analyse ist das ungleichmäßige Vorkommen von Fett- und Weichteilgewebe innerhalb der anatomischen Strukturen des Körpers und die Überlagerung von Knochen und Weichteilgewebe auf dem zweidimensionalen Bild. So wird davon ausgegangen, dass Fettgewebe, welches von der Röntgenquelle aus gesehen vor bzw. über dem Knochen liegt, genauso verteilt ist wie jenes dahinter bzw. darunter. Des Weiteren kann das Fettgewebe, welches hinter kompaktem Knochen liegt (z.B. Gehirn oder Knochenmark), bei größeren Menschen bzw. Tieren mit entsprechender Knochenstärke nicht mehr bestimmt werden. Daraus kann ein unterschätzter Fettgehalt resultieren (Scholz 2002).

Insgesamt ist die Diskrepanz zwischen Ergebnissen von DXA und chemischen Analysen jedoch als relativ gering zu betrachten (Scholz et al. 2004).

Weitere Einschränkungen der Messung der Knochenmineraldichte mittels DXA sind die axialen Asymmetrien der Knochenquerschnitte und die Neigungsverhältnisse von Knochen sowie die Annahme der Gewebemineralisierung. Messfehler entstehen vor allem durch Positionierungsfehler z.B. bei Messung der Hüfte durch Anteversion des Femurs (Beck 2003).

2.3. Bisherige Anwendung bei Cerviden

DXA wurde schon bei vielen verschiedenen Nutztierarten zur Ermittlung der Körperzusammensetzung verwendet (siehe Scholz et al. (2015)).

Zur Anwendung an Geweihen konnte jedoch nur eine Studie gefunden werden. Landete-Castillejos et al. (2010) nutzten DXA bei der Untersuchung gebrochener Rothirschgeweihe aus Jahren mit sehr kalten Wintern und intakter Geweihe aus Jahren mit normalen Wintern. Es wurden 1 cm dicke Querschnitte aus vier verschiedenen definierten Geweihpositionen entnommen und mit dem Gerät Norland XR 45 (Norland Scientific Instruments, Fort Atkinson, USA) gescannt. Der Knochenmineralgehalt sowie die projizierte Fläche und Knochenmineraldichte der Proben wurden bestimmt. Die Knochenmineraldichte wurde anhand der Querschnitte ermittelt und war in intakten Geweihen normaler Winter höher (im Mittelwert 850 mg/cm²) als die gebrochener Geweihe sehr kalter Winter (im Mittelwert 790 mg/cm²) (Landete-Castillejos et al. 2010).

Bjorå et al. (2001) untersuchten die zur Familie der Trughirsche (*Odocoileinae*)

gehörenden Elche (*Alces alces*) aus unterschiedlichen Regionen Norwegens mittels DXA. Sie scannten dabei die Metacarpalknochen (*Os metacarpale III*) an zwei Messpunkten und ermittelten signifikante Unterschiede für das Alter, die Region und die Körpermasse der Tiere. Besonders Elche aus Südnorwegen zeigten deutlich niedrigere Werte für BMD und BMC, auch die mechanischen Eigenschaften der Knochen waren vermindert. Die Autoren brachten dies mit der deutlich höheren Populationsdichte und der dementsprechend höheren Konkurrenz um hochwertige Nahrungsquellen in Verbindung (Bjørå et al. 2001).

III. MATERIAL UND METHODEN

Im Rahmen dieser Dissertation wurden Geweihe von insgesamt 155 Böcken aus verschiedenen deutschen Regionen mittels DXA untersucht. Außerdem lagen 13 Böcke direkt nach dem Erlegen und Ausweiden vor und wurden einem DXA-Ganzkörperscan unterzogen.

Für die Untersuchung wurde das Gerät *iDXA* (siehe Abb. 11) vom Hersteller GE Lunar (GE Medical Systems, Madison, Wisconsin, USA) verwendet. Zu Beginn jedes Scantages wurde mithilfe eines Phantoms eine Qualitätskontrolle durchgeführt. Die Auswertung der Scandaten erfolgte semi-automatisch mittels enCORE 2010 nach jedem Scan und forderte keinen weiteren Aufwand.

1. Versuch 1 - DXA-Geweihsan

Insgesamt wurden Geweihe von 155 Böcken aus elf deutschen Revieren untersucht. Von diesen lagen 19 in frischem Zustand vor, sodass diese sowohl frisch als auch nach der Präparation mittels DXA gescannt wurden. Die frischen Geweihe stammten alle aus den Jahren 2019 und 2020. Neun Geweihe waren von Bast bedeckt, davon lagen sechs frisch vor. Von den neun Bastgeweihen wurden acht den Jährlingen zugeordnet. Mittels DXA wurde die Knochenmineraldichte (BMD in g) und der Knochenmineralgehalt (BMC in g/cm²) gemessen.

1.1. Einteilung der Geweihe in Alters- und Revierklassen

Anhand der Geweihe wurde das Alter geschätzt bzw. das vom Jäger bezifferte Alter übernommen. Anschließend wurden die Geweihe in drei Altersklassen eingeteilt.

Als Jährlinge (Altersklasse 1) wurden in dieser Studie die Tiere definiert, die im ersten Jahr nach dem Geburtsjahr erlegt wurden. Als zweijährige (Altersklasse 2) wurden die Böcke definiert, die im zweiten Jahr nach ihrem Geburtsjahr erlegt wurden. Alle Böcke, die älter als zwei Jahre geschätzt wurden, wurden der Altersklasse 3 zugeordnet. Eine Auflistung der Anzahl der Geweihe je nach Revier sowie die Anzahl der Geweihe in den jeweiligen Altersklassen findet sich in Tab. 2.

Anhand der Waldanteile wurden die Reviere in drei Revierklassen unterteilt. Die Revierklasse „Feldreviere“ setzt sich aus den Revieren mit einem Waldanteil unter 20 % zusammen, in diese Klasse wurden die Reviere Hambach (0 % Wald), Gündung (6,0 % Wald), Oberschleißheim (13,0 % Wald) und Altfraunhofen (18,0 % Wald) eingeteilt. In die Revierklasse „Mischreviere“ wurden alle Reviere mit

Waldanteilen zwischen 20 % und 80 % eingeordnet, in diese Revierklasse fallen die Reviere Obergrashof (24 % Wald), Schwarzach (26,7 % Wald), Effelsberg (40 % Wald) und Waldkirch (55,1 % Wald).

Die Revierklasse „Waldreviere“ sind die Reviere mit einem Waldanteil über 80 %. Diese Klasse setzt sich zusammen aus den drei Waldrevieren Ebersberger Forst (98 % Wald), Werdauer Wald (100 % Wald) und Mochow (100 % Wald).

Tabelle 2: Anzahl der Geweihe je nach Revier und Verteilung nach Revier- und Altersklassen

Revierklasse	Revier	Waldanteil	Geweihe gesamt	Altersklasse 1	Altersklasse 2	Altersklasse 3
Feldreviere	Hambach	0 %	10	5	4	1
	Gündung	6 %	18	8	4	6
	Oberschleißheim	13 %	4	1	0	3
	Altfraunhofen	18 %	10	6	3	1
Mischreviere	Obergrashof	24 %	13	9	1	3
	Schwarzach	26,7 %	10	7	1	2
	Effelsberg	40 %	11	9	1	1
	Waldkirch	55,1 %	20	6	10	4
Waldreviere	Ebersberger Forst	98 %	31	3	6	22
	Werdauer Wald	100 %	12	12	0	0
	Mochow	100 %	16	5	9	2

Insgesamt wurden 72 Geweihe der Altersklasse 1 zugeordnet, 39 der Altersklasse 2 und 44 der Altersklasse 3. Die Altersklassen verteilen sich somit wie in Abb. 13 dargestellt.

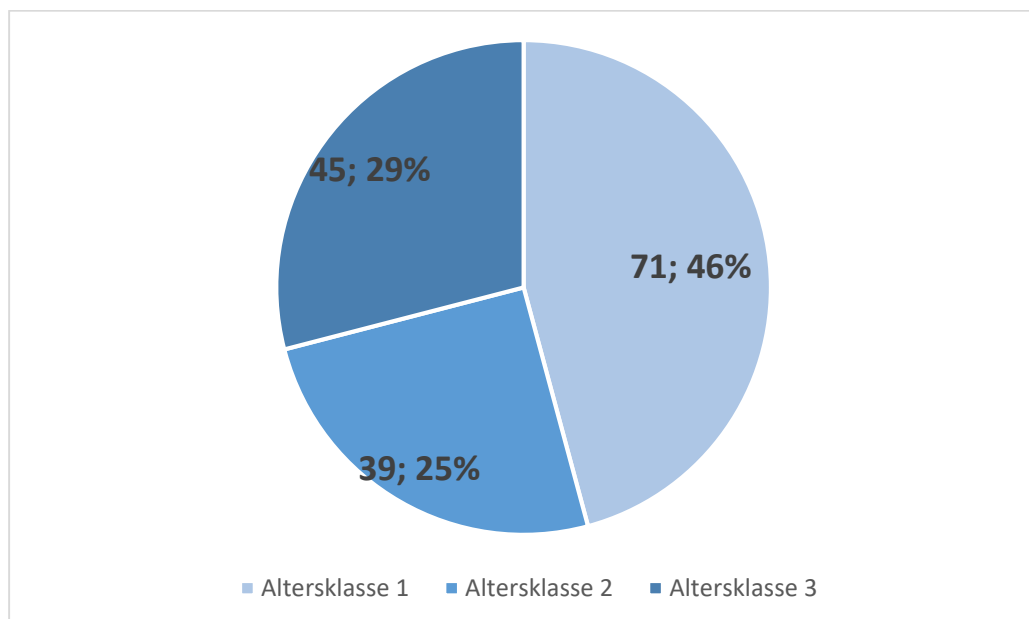


Abbildung 13: Verteilung der Altersklassen aller untersuchten Geweihe für Modell A

Für die Revierklassen ergab sich mit 42 Geweihen in der Revierklasse „Feldreviere“, 55 Geweihe in der Revierklasse „Mischreviere“ und 59 in der Revierklasse „Waldreviere“ die in Abb. 14 dargestellte Verteilung.

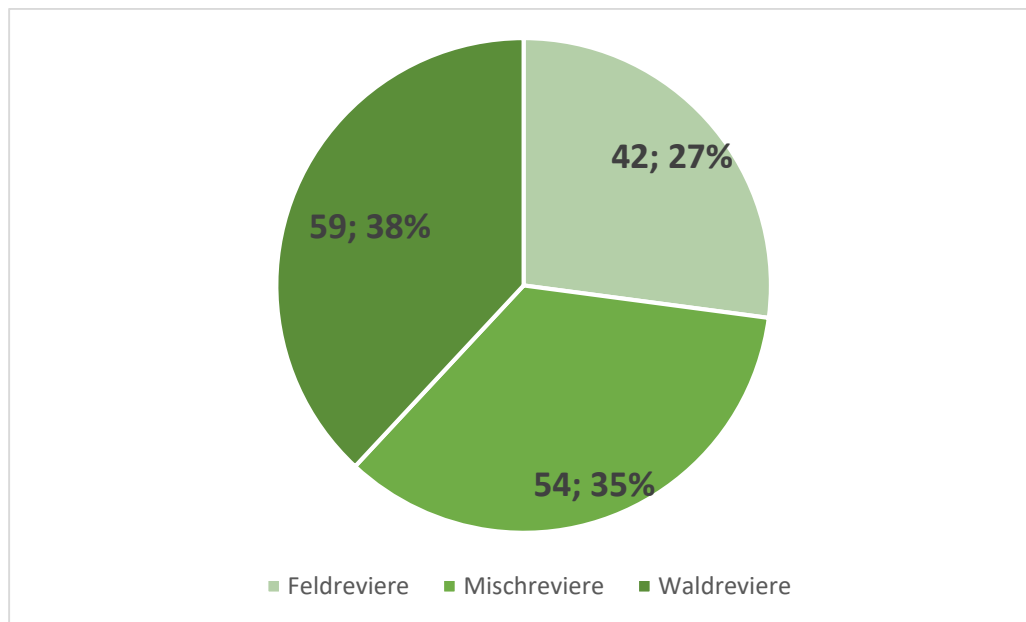


Abbildung 14: Verteilung der Revierklassen aller untersuchten Geweihe für Modell A

Für ein zweites statistisches Auswertungsmodell (Modell B) wurden ausschließlich die Jährlingsgeweihe verwendet. Neun der 71 Jährlingsgeweihe waren von Bast bedeckt, davon lagen sechs frisch vor. Von den neun Bastgeweihen wurden acht den Jährlingen zugeordnet, somit lag ein Anteil von 11,11 % der Bastgeweihe an den Jährlingsgeweihen vor (siehe Tab. 3).

Tabelle 3: Herkunft und Anzahl der Jährlingsgeweihe je nach Revier und Anteil der Bastgeweihe

Revierklasse	Revier	Waldanteil	Altersklasse 1 gesamt	Davon Bastgeweihe
Feldreviere	Hambach	0 %	5	0
	Gündung	6 %	8	1
	Oberschleißheim	13 %	1	1
	Altfraunhofen	18 %	6	1
Mischreviere	Obergrashof	24 %	9	4
	Schwarzach	26,7 %	7	0
	Effelsberg	40 %	9	0
	Waldkirch	55,1 %	6	0
Waldreviere	Ebersberger Forst	98 %	3	0
	Werdauer Wald	100 %	12	0
	Mochow	100 %	5	1

Es zeigte sich für die Jährlingsgeweihe die in Abb. 15 dargestellte Verteilung in Bezug auf die Revierklassen.

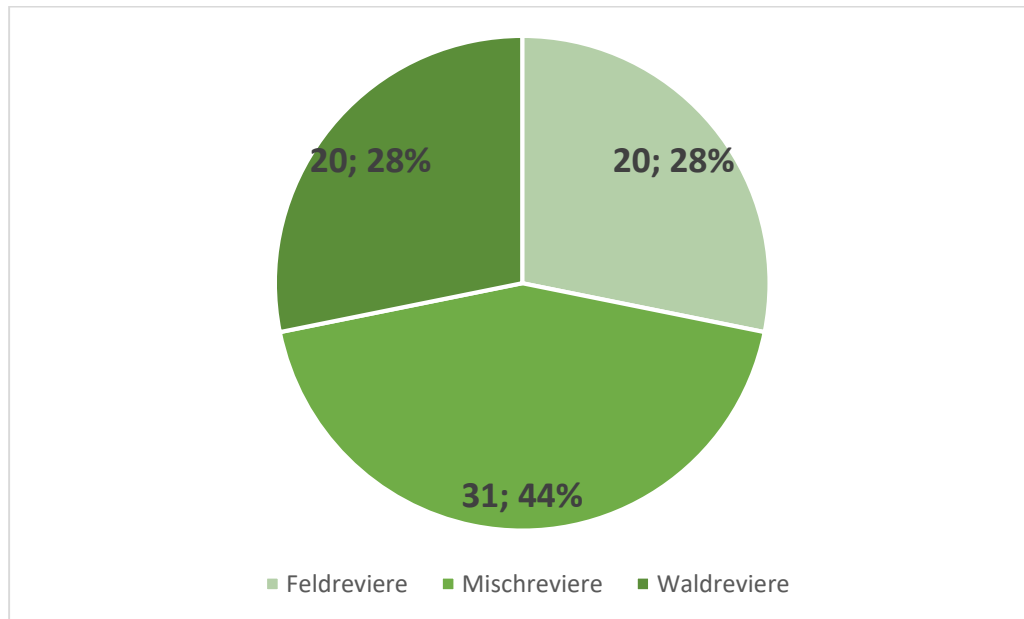


Abbildung 15: Verteilung der Revierklassen der Jährlingsgeweihe für Modell B

1.2. Präparation der frischen Geweihe

Von den 155 Geweihen lagen 19 im frischen, nicht präparierten Zustand vor. Davon kamen zehn aus dem Revier Obergrashof, vier aus dem Revier Oberschleißheim, vier aus dem Revier Dachau und eins aus dem Revier Landshut. Die frischen abgetrennten Rehköpfe wurden nach der ersten DXA-Messung zunächst mithilfe einer Abschlagvorrichtung von okzipital nach rostral durchsägt. Die abgeschlagenen Kopfteile wurden in Wasser mit handelsüblichem Vollwaschmittel ausgekocht und das Weichgewebe wurde entfernt, übrig blieb die fertige Trophäe (siehe Abb. 16).



Abbildung 16: Fertige Trophäe nach Präparation

1.3. Einstellung und Lagerung für den Geweihscan

Die Geweihe wurden in der Einstellung „linke Hand“ im Scanmodus „Standard“ bei einer Spannung von 100,0 Kilovolt (kV), einer Stromstärke von 0,188 Milliampere (mA) gescannt. Die Scandauer betrug jeweils eine Minute und 14 Sekunden (siehe Abb. 17).

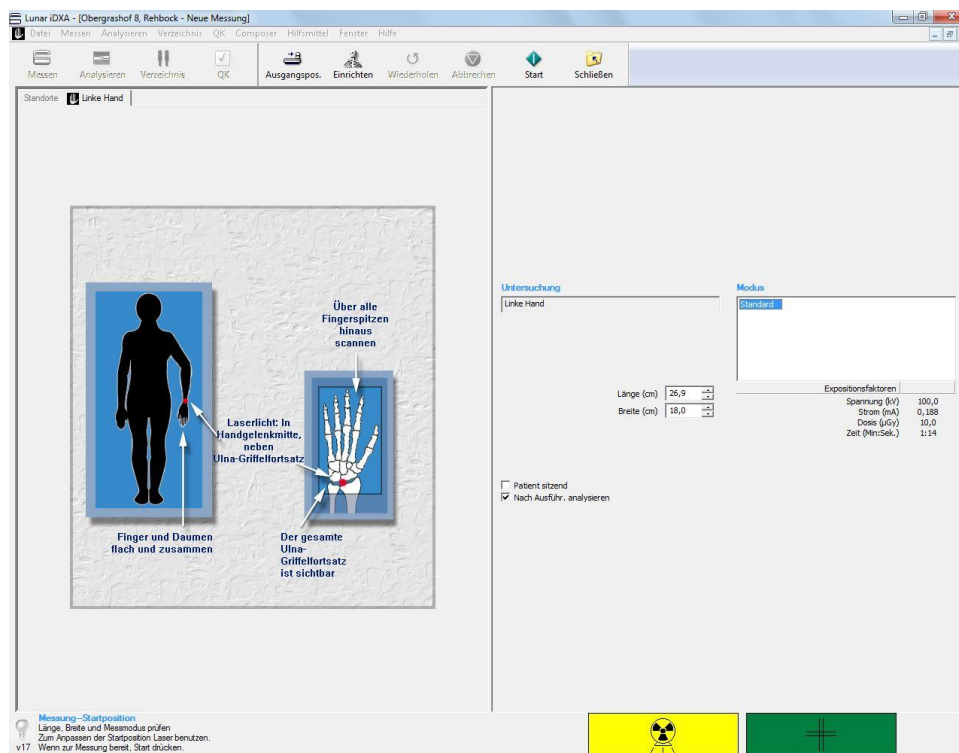


Abbildung 17: Einstellung des DXA-Scanners für die Geweihmessung

Die Geweihe wurden wie in Abb. 18 dargestellt auf dem Scannertisch positioniert.

Bei der Positionierung wurde mithilfe verschiedener Lagerungshilfen darauf geachtet, dass die Stangen parallel zum Scannertisch liegen und der Schädel nicht zur Seite verkippt war. Unter die Stangen wurde zur Simulation von Weichgewebe eine mit Reis gefüllte Lagerungshilfe positioniert.



Abbildung 18: Lagerung der Geweihe auf dem iDXA-Scanner

1.4. Auswertung der Geweihscans

Nach dem Scan wurden die vom Scanner als Knochen erkannten „Punkte“ markiert, dieser Bereich ist in Abb. 19 mit einer gelben Linie umrandet. Gegebenenfalls konnten zu diesem Zeitpunkt noch nicht erkannte Geweihbereiche eingeschlossen werden. Daraufhin wurden die interessierenden Regionen (ROI) markiert. In Abb. 19 sind diese durch die blauen Linien gekennzeichnet. Bei den Geweihen umfasst ROI [1] das gesamte Geweih oberhalb der Rosen. Zwei weitere Bereiche mit einer Höhe und Breite von 0,5 cm wurden jeweils bei der rechten (ROI [2]) und linken (ROI [3]) Stange direkt oberhalb der Rosen festgelegt. Diese wurden so gewählt, dass sie bei allen Geweihen an der gleichen Position gemessen werden können, ohne dabei Fehler durch Überlagerungen durch Sprossen zu erhalten. Die Messbereiche der Stangenbasen wurden in dieser Größe gewählt, da einige schwache Jährlingsgeweihe zum Teil nur einen Stangendurchmesser von etwas über einem halben Zentimeter aufwiesen. Der Scanner errechnete die Werte für Knochenmineraldichte (BMD in g/cm^2) und Knochenmineralgehalt (BMC in g), außerdem wurde die Fläche des Knochenareals innerhalb der interessierenden Region ROI [n] angegeben (siehe Abb. 19).

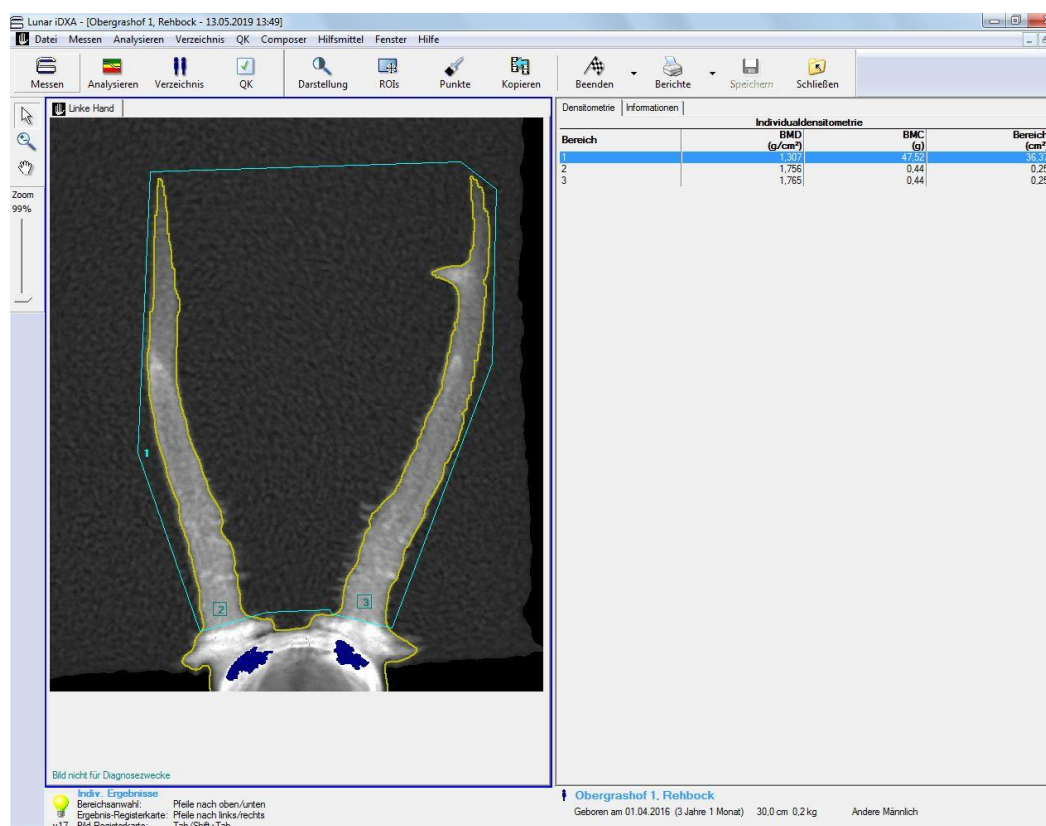


Abbildung 19: Ergebnisbild des Geweihscans und Lokalisation der interessierenden Regionen (ROI [1], ROI [2] und ROI [3])

Für jede der interessierenden Regionen wurden BMD und BMC der präparierten Geweihe bestimmt. Infolgedessen ergaben sich für das Gesamtgeweih (ROI [1]) BMD_p_k und BMC_p_k, für den Messbereich der linken Stangenbasis (ROI [2]) BMD_p_r und BMC_p_r und für den Messbereich der rechten Stangenbasis (ROI [3]) BMD_p_l und BMC_p_l. Dabei steht p für präpariert, k für komplett, r für rechts und l für links. Neben den errechneten Werten wurden noch jeweils, wenn zwei Stangen vorhanden waren, die Mittelwerte aus den beiden Messbereichen der Stangenbasis ROI [2] und ROI [3] ermittelt. BMD_p_m BMC_p_m stellen die Mittelwerte beider Messbereiche an den Stangenbasen dar. Zur Überprüfung der Methodik wurden außerdem die Ergebnisse der 19 frischen (f) Geweihe vor der Präparation BMD_f_k, BMC_f_k, BMD_f_r, BMC_f_r, BMD_f_l und BMC_f_l ermittelt, um diese mit den Ergebnissen nach der Präparation zu vergleichen

2. Versuch 2 - Ganzkörperscan

Insgesamt 13 Böcke lagen direkt nach dem Erlegen und dem Ausweiden vor (siehe Tab 4). Davon kamen neun aus dem Revier Obergrashof und vier aus dem Revier Oberschleißheim (siehe Tab. 4). Zwei der Böcke waren nicht erlegt worden, sondern verendeten durch Verkehrsunfälle. Insgesamt lagen sechs Jährlinge, ein zweijähriger, zwei dreijährige, zwei vierjährige, ein fünfjähriger und ein geschätzt sechsjähriger Bock vor (siehe Tab. 4). Das Alter der Tiere wurde von dem erfahrenen Jäger der Reviere geschätzt. Alle Tiere wurden innerhalb der geltenden Jagdzeiten in Bayern erlegt. Diese liegen für Rehböcke zwischen dem 01.Mai und 15. Oktober (für Schmalrehe 01. Mai bis 15. Januar und für Geißen 01. September bis 15. Januar).

Tabelle 4: Anzahl der analysierten Rehbockkörper (nach dem Ausweiden) nach Herkunft und geschätztem Alter

Revier	1 Jahr	2 Jahre	3 Jahre	4 Jahre	5 Jahre	6 Jahre
Oberschleißheim	1	0	0	2	1	0
Obergrashof	5	1	2	0	0	1

Für die statistische Auswertung der Ganzkörperscans (Ergebnisse siehe Anhang) wurden die Böcke aufgrund der niedrigen Probenzahl und nur eines zweijährigen Bocks (siehe Tab. 4) in zwei Klassen (Jährlinge, älter als ein Jahr) eingeteilt, sodass neben sechs Jährlingen (Altersklasse 1) sieben Tiere der Altersklasse 2 (älter als ein Jahr) zugeordnet wurden. Ein Einfluss der Revierklasse konnte nicht untersucht

werden, da nur aus zwei Revieren Daten vorlagen.

2.1. Ausweiden

Zur Ermittlung der Körpermasse wurden ausschließlich ausgeweidete Rehböcke verwendet, sodass ein Einfluss unterschiedlich starker Füllung des Verdauungstraktes ausgeschlossen werden konnte. Das Ausweiden der erlegten Tiere wurde bei jedem der Stücke von dem Jäger der beiden Reviere durchgeführt. Dabei wurde immer auf dieselbe Weise vorgegangen. Nach eröffnen von Bauch- und Brusthöhle wurden alle Organe, abgesehen von den Nieren und dem zugehörigen Nierenfett, entfernt. Zudem wurden die Organe des Halses mit Speise- und Luftröhre inklusive Zunge sowie die Geschlechtsorgane und der Darmausgang entnommen. Anschließend wurde das ausgeweidete Rehwild (noch in der Decke = mit Haut inklusive Fell) in eine Kühlkammer verbracht.

2.2. Einstellung und Lagerung für den Ganzkörperscan

Die Analysen der Rehwildkörper wurden in der Einstellung „Ganzkörper“ im Scanmodus „Standard“ bei einer Spannung von 100,0 kV, einer Stromstärke von 0,188 mA gescannt. Die Scandauer betrug jeweils sieben Minuten und 16 Sekunden (siehe Abb. 20).

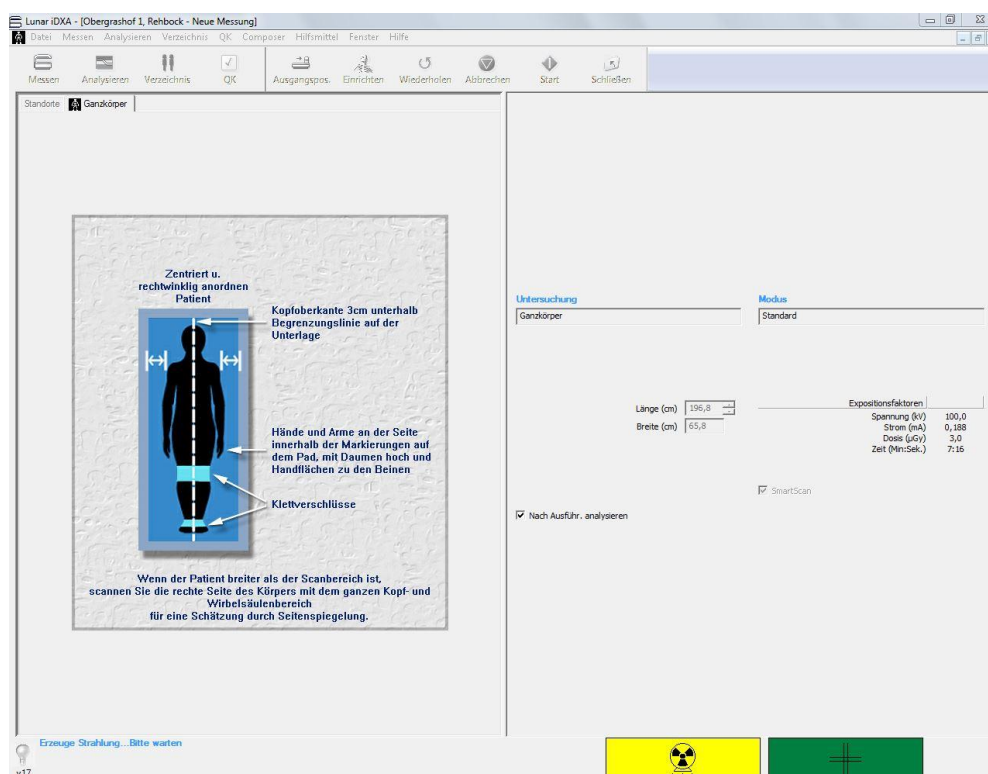


Abbildung 20: Einstellung des DXA-Scanners für die Ganzkörpermessung

Die Rehwildkörper wurden direkt nach dem Ausweiden auf der Seite liegend auf dem Scannertisch positioniert und einer Messung unterzogen (siehe Abb. 21).



Abbildung 21: Positionierung der ausgeweideten Rehwildkörper auf dem DXA-Scanner

2.3. Auswertung der Ganzkörperscans

Beim Ganzkörperscan umfasst die einzige interessierende Region (ROI [1]) den gesamten Körper (siehe Abb. 22).

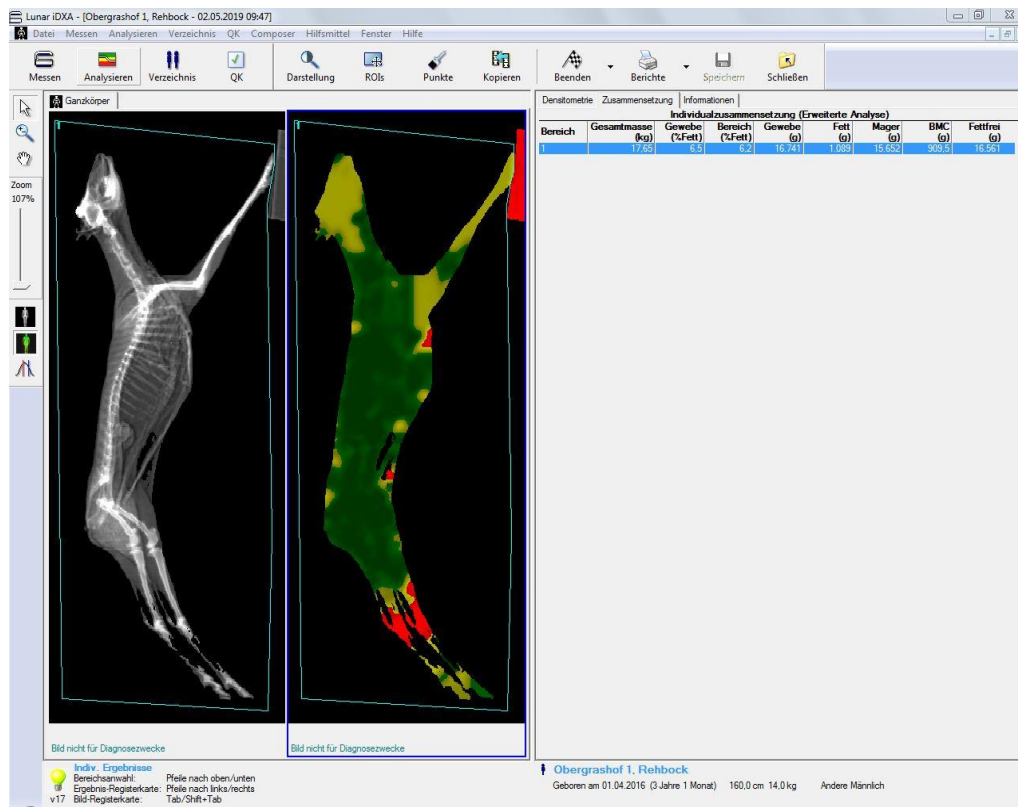


Abbildung 22: Ergebnisbild des Ganzkörperscans und Lokalisation der interessierenden Region (ROI [1])

Für die Ganzkörperscans wurden neben BMD, BMC und der gemessenen Knochenfläche (cm^2) außerdem das Magerweichgewebe (g), das Weichgewebe (g), der Fettgehalt (g) sowie der prozentuale Fettanteil (%) errechnet. Ein beispielhaftes Ergebnis eines Ganzkörperscans ist in Abb. 22 dargestellt, wobei die densitometrischen Daten (BMD und BMC) nicht mit abgebildet sind. Mithilfe des DXA-Ganzkörperscans wurde die ausgeweidete Körpermasse nach dem Ausweiden in der Decke mit Haupt der 13 Böcke ermittelt. Dieses errechnet sich aus der Addition von Weichgewebe (Magerweichgewebe + Fettgewebe) und Knochenmineralgehalt.

3. Statistische Datenanalyse

Für die statistische Analyse der erhobenen Daten wurde eine Mischmodellanalyse mithilfe der Software SAS9.3. (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA, 2019) angewandt. Dazu wurden Varianzanalysen mittels REML-Schätzmethodik (restricted maximum likelihood) durchgeführt.

Für die Varianzanalysen für Versuch 1 dienten die Ergebnisse der DXA-Geweihscans als Merkmale. Hierfür wurden ausschließlich die Daten der

präparierten Geweihe verwendet. Fixe Effekte auf die Messwerte für die Untersuchung aller gescannten Geweihe sind dabei die Revierklassen und die Altersklassen. Für eine zusätzliche Auswertung der Jährlingsgeweihe wurde ein Modell B erstellt, bei dem die fixen Effekte die Revierklasse und das Vorhandensein von Bast darstellen.

Zusätzlich wurden Regressionsanalysen (linear, quadratisch oder dritten Grades) ebenfalls mithilfe von SAS 9.3 (SAS Institute Inc. 2011) durchgeführt. Damit wurden die Beziehung der Merkmale frischer Geweihe zu den präparierten berechnet sowie die Beziehung von den DXA-Messwerte und dem Alter zur Körpermasse nach dem Ausweiden in der Decke mit Haupt.

Zusätzlich wurde mittels Varianzanalysen der Einfluss der Altersklasse (Jährling, älter als ein Jahr) auf die Ergebnisse der DXA-Ganzkörperscans (Fettanteil (%), Fettgehalt (g), Magerweichgewebe (g), BMD (g/cm^2) und BMC (g)) untersucht. Die Ergebnisse der Varianzanalysen für die Ganzkörperscans finden sich im Anhang.

Die Signifikanzen wurden mithilfe von F- und t-Tests überprüft. Die Signifikanzgrenze für den F-Test und für Differenzen zwischen den kleinsten mittleren Quadraten (t-Test) wurde jeweils mit $p \leq 0,05$ definiert.

3.1. Einteilung der Modelle für Versuch 1

Im Folgenden werden die beiden Modelle der Varianzanalysen für Versuch 1 beschrieben.

Modell der Einflüsse von Alters- und Revierklasse auf die Variablen für alle Geweihe (Modell A)

$$y_{ijk} = A_i + R_j + e_{ijk}$$

mit:

y_{ijk}	beobachtetes Merkmal
A_i	Fixer Effekt der Altersklasse ($i = 1 - 3$)
R_j	Fixer Effekt der Revierklasse ($j = 1 - 3$)
e_{ijk}	zufälliger Restfehler

Insgesamt wurden 155 Geweihe gescannt. Davon wurden 155 für die Merkmale BMD_p_k und BMC_p_k, 146 für die Merkmale BMD_p_m und BMC_p_m und

insgesamt 150 für die Merkmale BMD_p_r, BMC_p_r, BMD_p_l und BMC_p_l verwendet.

Modell der Einflüsse von Revierklasse und Bast auf die Jährlingsgeweihe (Modell B)

$$y_{ijk} = R_i + B_j + e_{ijk}$$

mit:

y_{ijk}	beobachtetes Merkmal
R_i	Fixer Effekt der Revierklasse (i = 1 - 3)
B_j	Fixer Effekt des Vorhandenseins von Bast (j = 1 - 2)
e_{ijk}	zufälliger Restfehler

Für das Modell B wurden ausschließlich Jährlingsgeweihe verwendet, da nur ein einziges Geweih einer anderen Altersklasse mit Bast zur Verfügung stand. Für die Merkmale BMD_p_k und BMC_p_k wurden die Ergebnisse von 71 Geweihen verwendet, für BMD_p_m und BMC_p_m von 62 und für BMD_p_r, BMC_p_r, BMD_p_l und BMC_p_l die Ergebnisse von 66 Geweihscans.

3.2. Modell für Versuch 2

Für die Varianzanalyse der Ergebnisse des DXA-Ganzkörperscans (Fettanteil (%), Fettgehalt (g), Magerweichgewebe (g), BMD (g/cm²) und BMC (g)) der 13 Rehkörper wurde folgendes Modell verwendet:

Modell des Einflusses der Altersklasse auf die Variablen der Ganzkörperscans (Modell C)

$$y_{ij} = A_i + e_{ij}$$

mit:

y_{ij}	beobachtetes Merkmal
A_i	Fixer Effekt der Altersklasse (i = 1 - 2)
e_{ij}	zufälliger Restfehler

Die Ergebnisse für das Modell C finden sich im Anhang.

IV. ERGEBNISSE

Im Folgenden werden die Ergebnisse der DXA-Analysen und der statistischen Modelle dargestellt. Als signifikant wurden Ergebnisse mit $p \leq 0,05$ definiert.

1. Ergebnisse Versuch 1 - Geweihscan

Für beide Modelle der Geweihscans zeigten sich für das Gesamtgeweih (ROI [1]) verglichen mit den Messbereichen der Stangenbasen (ROI [2] und ROI [3]) erwartungsgemäß höhere Werte für BMC und niedrigere Werte für BMD. Aufgrund des hohen Grades an Übereinstimmung zwischen BMD_p_m und BMC_p_m mit den Schätzwerten für ROI [2] (BMD_p_r und BMC_p_r) und ROI [3] (BMD_p_l und BMC_p_l (siehe Tab. 9) werden anschließend zum Teil nur die Ergebnisse von BMD_p_m und BMC_p_m beschrieben.

1.1. Ergebnisse Modell A

Für Modell A wurden sowohl signifikante Einflüsse der Altersklasse als auch der Revierklasse errechnet. Für die Analyse konnten bei BMD_p_k und BMC_p_k die Ergebnisse von 155 und für die Analysen von BMD_p_r, BMC_p_r, BMD_p_l und BMC_p_l je die Ergebnisse von 150 Geweihscans verwendet werden. Für BMD_p_m und BMC_p_m wurden 146 Geweihscans verwendet, bei denen zwei auswertbaren Stangen vorlagen. Da nicht bei jedem Geweih eine rechte und eine linke Stange auswertbar war, weichen die Ergebnisse für BMD_p_m und BMC_p_m teilweise von den aus BMD_p_r und BMD_p_l bzw. BMC_p_r und BMC_p_l erwarteten Werten ab.

1.1.1. Einfluss der Altersklasse

Auf alle Merkmale der Geweihscans hatte die Altersklasse im Modell A mit $p \leq 0,0001$ einen signifikanten Einfluss (siehe Tab. 5).

Tabelle 5: Varianzanalysen für den Effekt der Altersklasse auf die einzelnen Merkmale für Modell A

Merkmal	Num DF	Den DF	F-Wert	Pr > F
BMD_p_k	2	150	56,18	< 0,0001
BMC_p_k	2	150	176,61	< 0,0001
BMD_p_m	2	141	58,51	< 0,0001
BMC_p_m	2	141	58,60	< 0,0001
BMD_p_r	2	145	54,96	< 0,0001
BMC_p_r	2	145	55,15	< 0,0001
BMD_p_l	2	145	56,15	< 0,0001
BMC_p_l	2	145	56,05	< 0,0001

BMD_p_k = Knochenmineraldichte des Messbereichs ROI [1]; BMC_p_k = Knochenmineralgehalt des Messbereichs ROI [1]; BMD_p_m = Mittelwert der Knochenmineraldichten der Messbereiche ROI [2] und ROI [3]; BMC_p_m = Mittelwert der Knochenmineralgehalte der Messbereiche ROI [2] und ROI [3]; BMD_p_r = Knochenmineraldichte des Messbereichs ROI [2]; BMC_p_r = Knochenmineralgehalt des Messbereichs ROI [2]; BMD_p_l = Knochenmineraldichte des Messbereichs ROI [3]; BMC_p_l = Knochenmineralgehalt des Messbereichs ROI [3]; p = präpariert; k = komplett; l = links; r = rechts; Num DF = Freiheitsgrade im Zähler der F-Verteilung; Den DF = Freiheitsgrade im Nenner der F-Verteilung

Bei Betrachtung der Ergebnisse für BMD aller interessierenden Regionen wird deutlich, dass die Knochenmineraldichte mit steigender Altersklasse signifikant zunimmt (siehe Abb.23). Die Differenzen zwischen den Altersklassen waren für alle Merkmale signifikant (siehe Tab. 9). Dabei waren die Differenzen zwischen den Schätzwerten sowohl für BMD als auch für BMC aller Messbereiche zwischen Altersklasse 1 und Altersklasse 2 durchweg größer als die zwischen Altersklasse 2 und Altersklasse 3 (siehe Tab. 9).

Die BMD-Schätzwerte der Jährlingsgeweihe waren um $0,209 \pm 0,039 \text{ g/cm}^2$ (BMD_p_k) bzw. $0,287 \pm 0,047 \text{ g/cm}^2$ (BMD_p_m) niedriger als die der Zweijährigen. Im Vergleich zu den Geweihen der Altersklasse 3 war die Differenz mit $0,402 \pm 0,038 \text{ g/cm}^2$ (BMD_p_k) und $0,493 \pm 0,046 \text{ g/cm}^2$ (BMD_p_m) zu den Jährlingsgeweihen noch größer. Die Geweihe der Altersklasse 3 wiesen verglichen mit denen der Altersklasse 2 eine um $0,193 \pm 0,043 \text{ g/cm}^2$ (BMD_p_k) bzw. $0,206 \pm 0,051 \text{ g/cm}^2$ (BMD_p_m) höhere Knochenmineraldichte auf (siehe Abb.23).

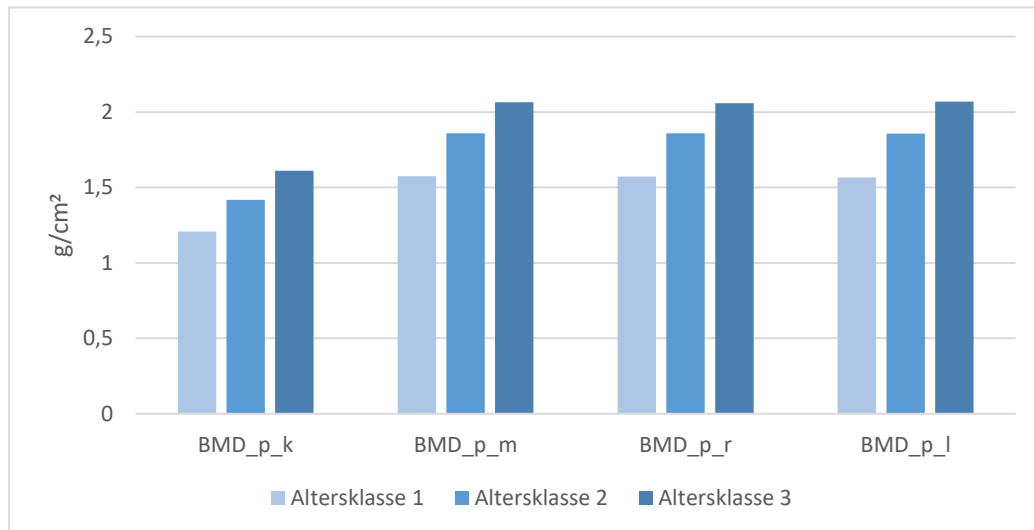


Abbildung 23: Einfluss der Altersklasse auf die Schätzwerte von BMD im Rehgeweih für Modell A

BMD_p_k = Knochenmineraldichte des Messbereichs ROI [1]; BMD_p_m = Mittelwert der Knochenmineraldichten der Messbereiche ROI [2] und ROI [3]; BMD_p_r = Knochenmineraldichte des Messbereichs ROI [2]; BMD_p_l = Knochenmineraldichte des Messbereichs ROI [3]; p = präpariert; k = komplett; l = links; r = rechts

Genauso verhielt es sich mit BMC aller Messbereiche. Für dieses Merkmal stiegen die Werte mit zunehmender Altersklasse signifikant, und auch hier waren die Schritte von Altersklasse 1 zu Altersklasse 2 größer als die von Altersklasse 2 zu Altersklasse 3 (siehe Abb. 24 und 25).

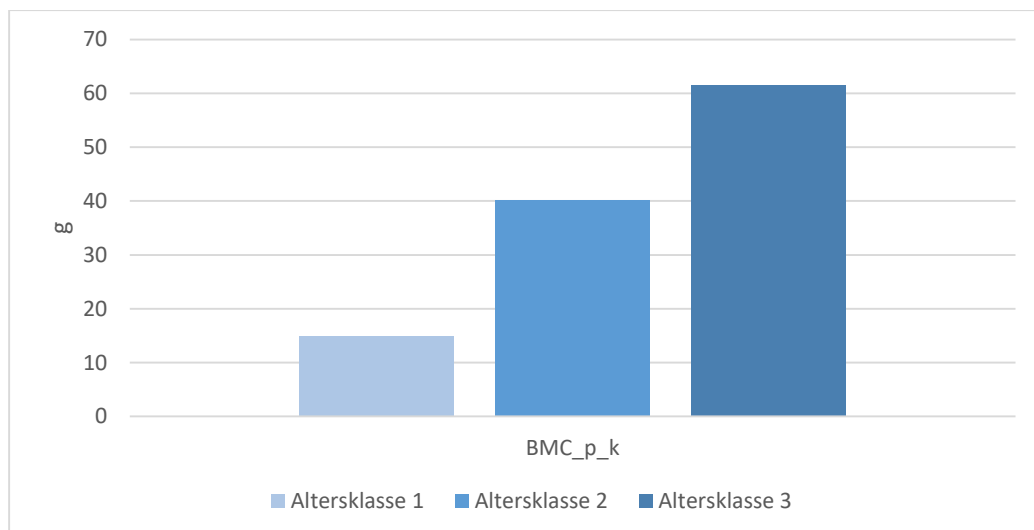


Abbildung 24: Einfluss der Altersklasse auf die Schätzwerte von BMC des Messbereichs ROI [1] im Rehgeweih für Modell A

BMC_p_k = Knochenmineralgehalt des Messbereichs ROI [1]; p = präpariert; k = komplett

BMC_p_k war für die Zweijährigen um $25,18 \pm 2,56$ g und für die Geweihe der Altersklasse 3 um $46,54 \pm 2,51$ g höher als das der Jährlingsgeweihe. Zwischen

Altersklasse 2 und Altersklasse 3 bestand eine Differenz von $21,36 \pm 2,82$ g (siehe Abb. 24).

Die Schätzwerte für BMC_{p_m} waren für die Geweihe der Zweijährigen um $0,07 \pm 0,01$ g und die der Altersklasse 3 um $0,12 \pm 0,01$ g signifikant höher als die der Jährlingsgeweihe. Die Werte von BMC_{p_m} für Altersklasse 3 überstiegen die der Altersklasse 2 um $0,05 \pm 0,01$ g (siehe Abb. 25).

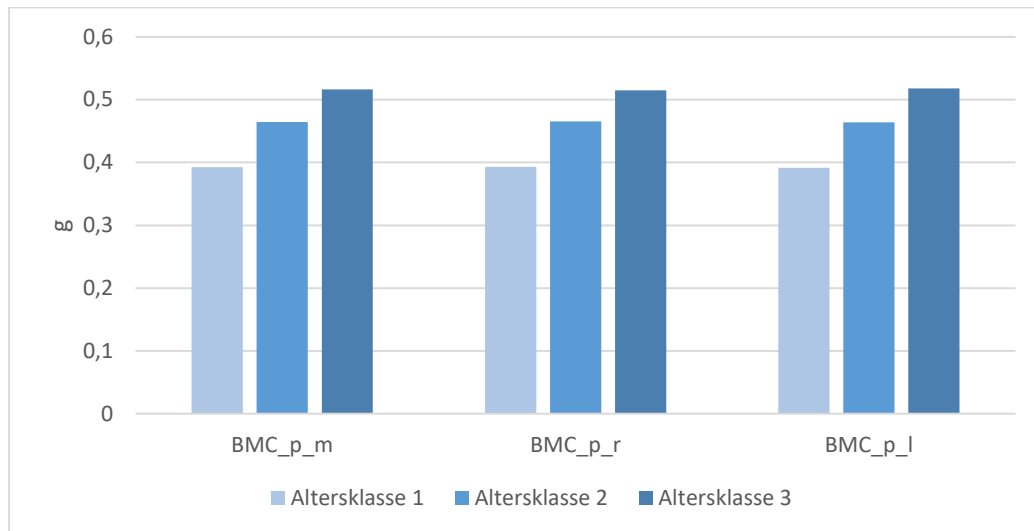


Abbildung 25: Einfluss der Altersklasse auf die Schätzwerte von BMC der Messbereiche ROI [2] und ROI [3] im Rehgeweih für Modell A

*BMC_{p_m} = Mittelwert der Knochenmineralgehalte der Messbereiche ROI [2] und ROI [3];
 BMC_{p_r} = Knochenmineralgehalt des Messbereichs ROI [2]; BMC_{p_l} =
 Knochenmineralgehalt des Messbereichs ROI [3]; p = präpariert; k = komplett; l = links; r =
 rechts*

1.1.2. Einfluss der Revierklassen

Die Revierklasse hatte einen signifikanten Einfluss auf alle Schätzwerte mit Ausnahme von BMD_{p_k} mit $p = 0,192$ (siehe Tab. 6).

Tabelle 6: Varianzanalysen für den Effekt der Revierklasse auf die einzelnen Merkmale für Modell A

Merkmal	Num DF	Den DF	F-Wert	Pr > F
BMD_p_k	2	150	1,67	0,1920
BMC_p_k	2	150	3,25	0,0415
BMD_p_m	2	141	4,82	0,0095
BMC_p_m	2	141	4,84	0,0093
BMD_p_r	2	145	3,98	0,0208
BMC_p_r	2	145	4,19	0,0170
BMD_p_l	2	145	4,59	0,0116
BMC_p_l	2	145	4,46	0,0132

BMD_p_k = Knochenmineraldichte des Messbereichs ROI [1]; BMC_p_k = Knochenmineralgehalt des Messbereichs ROI [1]; BMD_p_m = Mittelwert der Knochenmineraldichten der Messbereiche ROI [2] und ROI [3]; BMC_p_m = Mittelwert der Knochenmineralgehalte der Messbereiche ROI [2] und ROI [3]; BMD_p_r = Knochenmineraldichte des Messbereichs ROI [2]; BMC_p_r = Knochenmineralgehalt des Messbereichs ROI [2]; BMD_p_l = Knochenmineraldichte des Messbereichs ROI [3]; BMC_p_l = Knochenmineralgehalt des Messbereichs ROI [3]; p = präpariert; k = komplett; l = links; r = rechts; Num DF = Freiheitsgrade im Zähler der F-Verteilung; Den DF = Freiheitsgrade im Nenner der F-Verteilung

Die Werte der Geweihe aus den Feldrevieren übersteigen für alle Merkmale die der anderen Revierklassen, die Geweihe der Waldreviere zeigten durchweg die niedrigsten Werte. Insgesamt waren die Unterschiede zwischen Feld- und Mischrevieren geringer als die zwischen diesen beiden Revierklassen und den Waldrevieren.

BMD_p_m zeigte eine signifikante Steigerung von Waldrevieren zu Mischrevieren ($0,098 \pm 0,046 \text{ g/cm}^2$) und zu Feldrevieren ($0,143 \pm 0,048 \text{ g/cm}^2$). Zwischen Misch- und Feldrevieren bestand mit $0,045 \pm 0,050 \text{ g/cm}^2$ nur ein tendenzieller Unterschied (siehe Abb. 26). Die Differenzen zwischen den Schätzwerten für Feld- und Mischreviere waren nicht signifikant (siehe Tab. 9).

Für den Einfluss der Revierklassen auf BMD_p_k konnte keine Signifikanz festgestellt werden, jedoch zeigen sich bei Betrachtung der Werte die gleichen Tendenzen wie bei den anderen Merkmalen (siehe Abb. 26).

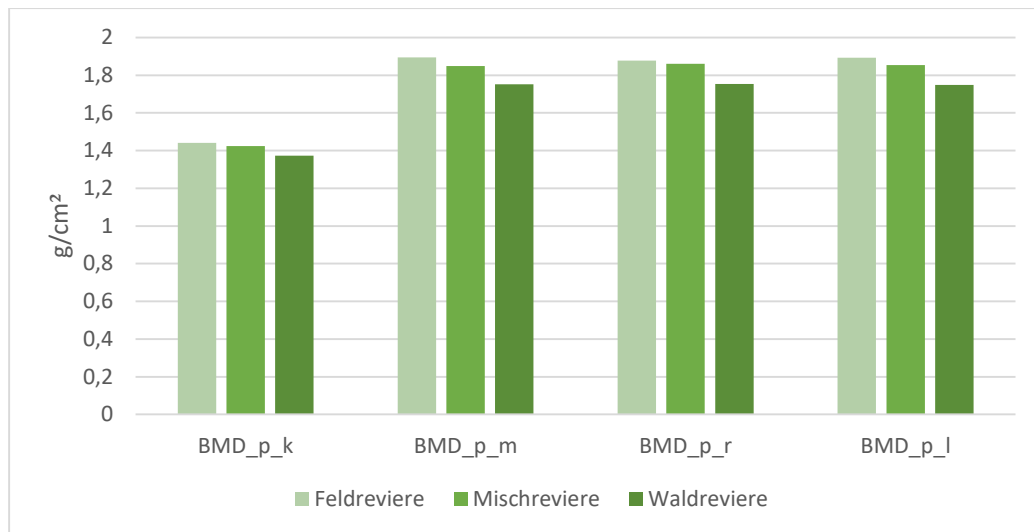


Abbildung 26: Einfluss der Revierklasse auf die Schätzwerte von BMD im Rehgeweih für Modell A

BMD_p_k = Knochenmineraldichte des Messbereichs ROI [1]; BMD_p_m = Mittelwert der Knochenmineraldichten der Messbereiche ROI [2] und ROI [3]; BMD_p_r = Knochenmineraldichte des Messbereichs ROI [2]; BMD_p_l = Knochenmineraldichte des Messbereichs ROI [3]; p = präpariert; k = komplett; l = links; r = rechts

Die Ergebnisse für BMC zeigten durchweg signifikante Einflüsse der Revierklasse (siehe Tab. 6). Die Werte für BMC stiegen von Waldrevieren zu Mischrevieren zu Feldrevieren signifikant an (siehe Abb. 27 und 28). Allerdings war für BMC_p_k nur der Unterschied zwischen Feld- und Waldrevieren mit $6,56 \pm 2,61$ g signifikant (siehe Tab 9). Die um $2,74 \pm 2,64$ g von Feld- zu Mischrevieren und um $3,82 \pm 2,4771$ höheren Werte von Misch- zu Waldrevieren wiesen nur tendenzielle Unterschiede auf.

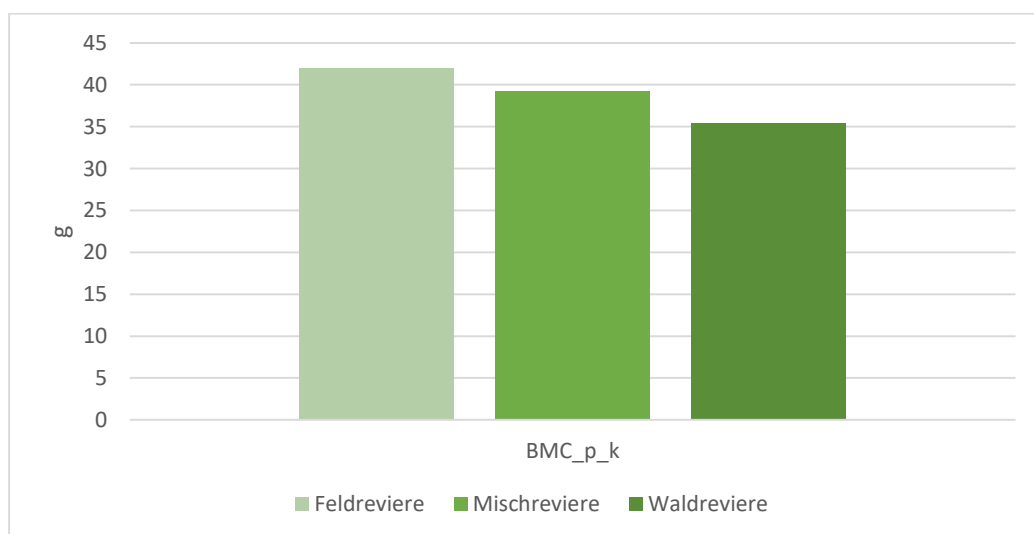


Abbildung 27: Einfluss der Revierklasse auf die Schätzwerte von BMC des Messbereichs ROI [1] im Rehgeweih für Modell A

BMC_p_k = Knochenmineralgehalt des Messbereichs ROI [1]; p = präpariert; k = komplett

Die Unterschiede der Schätzwerte für BMC_{p_m} zeigten dagegen sowohl zwischen Feld- und Waldrevieren ($0,04 \pm 0,01$ g) als auch zwischen Misch- und Waldrevieren ($0,25 \pm 0,01$ g) Signifikanz. Die Differenz der Werte zwischen Misch- und Feldrevieren ($0,11 \pm 0,013$ g) war dagegen nur tendenziell vorhanden (siehe Tab. 9).



Abbildung 28: Einfluss der Revierklasse auf die Schätzwerte von BMC der Messbereiche ROI [2] und ROI [3] im Rehwiech für Modell A

BMC_{p_m} = Mittelwert der Knochenmineralgehalte der Messbereiche ROI [2] und ROI [3];
BMC_{p_r} = Knochenmineralgehalt des Messbereichs ROI [2]; *BMC_{p_l}* =
 Knochenmineralgehalt des Messbereichs ROI [3]; p = präpariert; k = komplett; l = links; r =
 rechts

1.2. Ergebnisse Modell B

Im Modell B wurde der Einfluss der Revierklasse und das Vorhandensein von Bast auf die DXA-Ergebnisse der Jährlingsgeweihe untersucht. Für die Analyse konnten bei BMD_p_k und BMC_p_k die Ergebnisse von 71 und für die Analysen von BMD_p_r, BMC_p_r, BMD_p_l und BMC_p_l je die Ergebnisse von 66 Geweihscans verwendet werden. Für BMD_p_m und BMC_p_m wurden 62 Geweihscans verwendet, bei denen zwei auswertbaren Stangen vorlagen. Da nicht bei jedem Geweih eine rechte und eine linke Stange auswertbar war, weichen die Ergebnisse für BMD_p_m und BMC_p_m teilweise von den aus BMD_p_r und BMD_p_l bzw. BMC_p_r und BMC_p_l erwarteten Werten ab.

1.2.1. Einfluss des Vorhandenseins von Bast auf die Jährlingsgeweihe

Bis auf das Merkmal BMC_p_k mit $p = 0,0621$ war der Einfluss des Vorhandenseins von Bast für jedes Merkmal signifikant ($p \leq 0,05$).

Tabelle 7: Varianzanalysen für den Effekt der des Vorhandenseins von Bast auf die einzelnen Merkmale für Modell B (nur Jährlingsgeweihe)

Merkmal	Num DF	Den DF	F-Wert	Pr > F
BMD_p_k	1	67	15,16	0,0002
BMC_p_k	1	67	3,60	0,0621
BMD_p_m	1	58	10,96	0,0016
BMC_p_m	1	58	10,93	0,0016
BMD_p_r	1	62	9,78	0,0027
BMC_p_r	1	62	9,51	0,0031
BMD_p_l	1	62	7,62	0,0076
BMC_p_l	1	62	7,81	0,0069

BMD_p_k = Knochenmineraldichte des Messbereichs ROI [1]; BMC_p_k = Knochenmineralgehalt des Messbereichs ROI [1]; BMD_p_m = Mittelwert der Knochenmineraldichten der Messbereiche ROI [2] und ROI [3]; BMC_p_m = Mittelwert der Knochenmineralgehalte der Messbereiche ROI [2] und ROI [3]; BMD_p_r = Knochenmineraldichte des Messbereichs ROI [2]; BMC_p_r = Knochenmineralgehalt des Messbereichs ROI [2]; BMD_p_l = Knochenmineraldichte des Messbereichs ROI [3]; BMC_p_l = Knochenmineralgehalt des Messbereichs ROI [3]; p = präpariert; k = komplett; l = links; r = rechts; Num DF = Freiheitsgrade im Zähler der F-Verteilung; Den DF = Freiheitsgrade im Nenner der F-Verteilung

Für BMD aller Messbereiche überstiegen die Werte der gefegten Geweihe signifikant die der bastbedeckten Trophäen (siehe Abb. 29). Die Werte für BMD_p_k der gefegten Geweihe waren um $0,298 \pm 0,076 \text{ g/cm}^2$ höher als die der bastbedeckten Geweihe. Für BMD_p_m ergab sich ein Unterschied von $0,296 \pm$

0,089 g/cm².

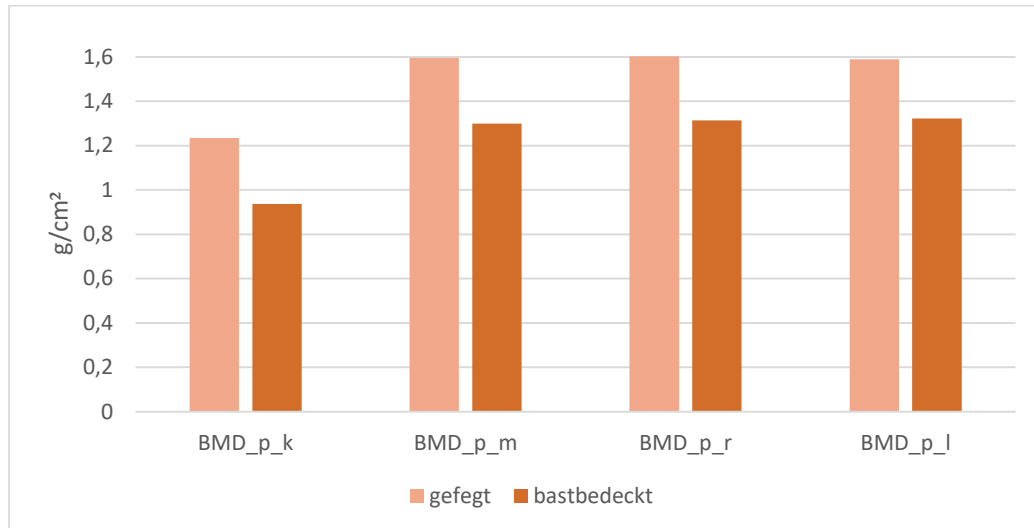


Abbildung 29: Einfluss des Vorhandenseins von Bast auf die Schätzwerte von BMD im Rehwiehl für Modell B

BMD_p_k = Knochenmineraldichte des Messbereichs ROI [1]; BMD_p_m = Mittelwert der Knochenmineraldichten der Messbereiche ROI [2] und ROI [3]; BMD_p_r = Knochenmineraldichte des Messbereichs ROI [2]; BMD_p_l = Knochenmineraldichte des Messbereichs ROI [3]; p = präpariert; k = komplett; l = links; r = rechts

Für BMC_p_k wurde knapp keine Signifikanz ($p = 0,0621$) des Einflusses von Bast gefunden, jedoch zeigten die Werte mit einer Differenz von $6,55 \pm 3,45$ g eine deutliche Tendenz für einen niedrigeren Knochenmineralgehalt bei Bastgeweihen (siehe Abb. 30).

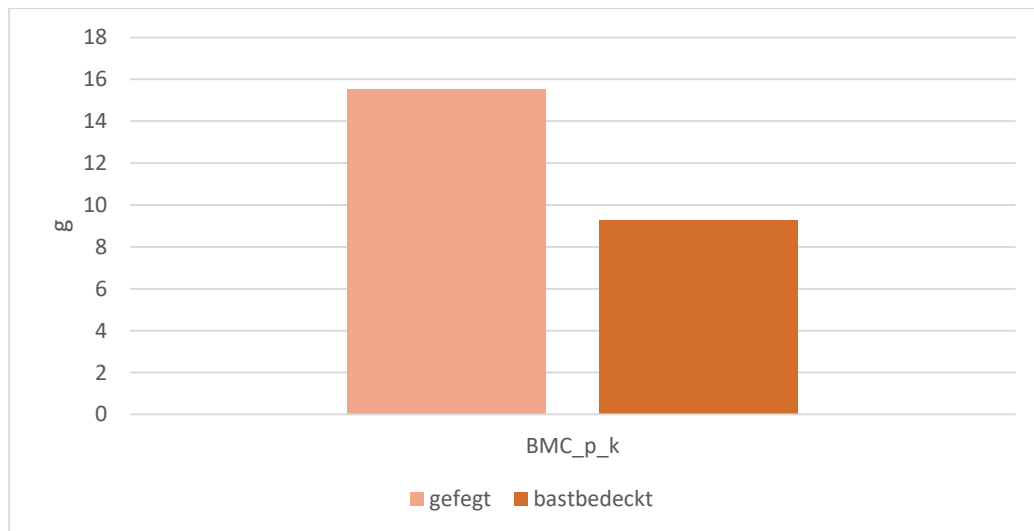


Abbildung 30: Einfluss des Vorhandenseins von Bast auf die Schätzwerte von BMC des Messbereichs ROI [1] im Rehwiehl für Modell B

BMC_p_k = Knochenmineralgehalt des Messbereichs ROI [1]; p = präpariert; k = komplett

Auch die Ergebnisse der Messbereiche der Stangenbasen zeigten deutlich höhere Schätzwerte für gefegte Geweihe (siehe Abb. 31). Hier war der Einfluss des

Vorhandenseins von Bast signifikant (siehe Tab. 7).

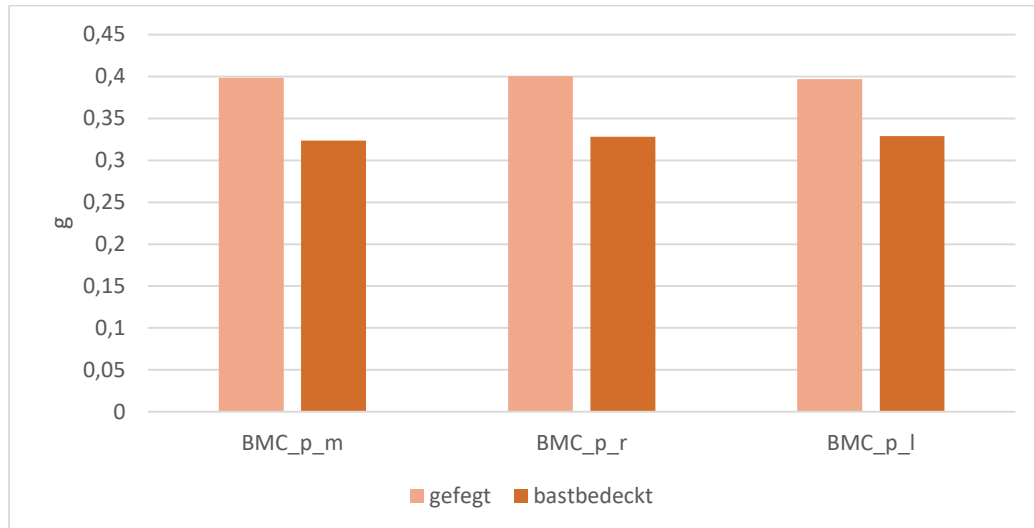


Abbildung 31: Einfluss des Vorhandenseins von Bast auf die Schätzwerte von BMC der Messbereiche ROI [2] und ROI [3] im Rehgeweih für Modell B

BMC_p_m = Mittelwert der Knochenmineralgehalte der Messbereiche ROI [2] und ROI [3]; BMC_p_r = Knochenmineralgehalt des Messbereichs ROI [2]; BMC_p_l = Knochenmineralgehalt des Messbereichs ROI [3]; p = präpariert; k = komplett; l = links; r = rechts

1.2.2. Einfluss der Revierklasse auf die Jährlingsgeweihe

Für den Einfluss der Revierklassen auf die Messergebnisse der Jährlingsgeweihe ergab sich in der Varianzanalyse insgesamt keine Signifikanz (siehe Tab. 8).

Tabelle 8: Varianzanalysen für den Effekt der Revierklasse auf die einzelnen Merkmale für Modell B (nur Jährlingsgeweihe)

Merkmal	Num DF	Den DF	F-Wert	Pr > F
BMD_p_k	2	67	1,29	0,2827
BMC_p_k	2	67	2,23	0,1153
BMD_p_m	2	58	1,79	0,1755
BMC_p_m	2	58	1,82	0,1712
BMD_p_r	2	62	0,43	0,6506
BMC_p_r	2	62	0,52	0,5981
BMD_p_l	2	62	1,40	0,2551
BMC_p_l	2	62	1,29	0,2835

BMD_p_k = Knochenmineraldichte des Messbereichs ROI [1]; BMC_p_k = Knochenmineralgehalt des Messbereichs ROI [1]; BMD_p_m = Mittelwert der Knochenmineraldichten der Messbereiche ROI [2] und ROI [3]; BMC_p_m = Mittelwert der Knochenmineralgehalte der Messbereiche ROI [2] und ROI [3]; BMD_p_r = Knochenmineraldichte des Messbereichs ROI [2]; BMC_p_r = Knochenmineralgehalt des Messbereichs ROI [2]; BMD_p_l = Knochenmineraldichte des Messbereichs ROI [3]; BMC_p_l = Knochenmineralgehalt des Messbereichs ROI [3]; p = präpariert; k = komplett; l

= links; r = rechts; Num DF = Freiheitsgrade im Zähler der F-Verteilung; Den DF = Freiheitsgrade im Nenner der F-Verteilung

Obwohl der Revierklasseneffekt bei Jährlingsgeweihen nicht signifikant war (siehe Tab. 8), fanden sich für das Modell B jeweils die höchsten Werte sowohl für BMD als auch für BMC aller Messbereiche bei den Geweihen der Feldreviere (siehe Abb. 32).

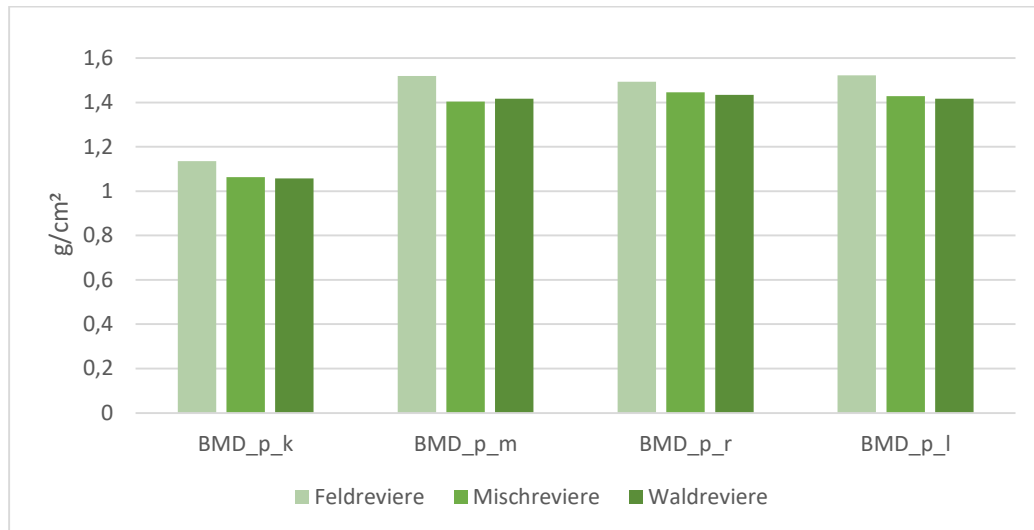


Abbildung 32: Einfluss der Revierklasse auf die Schätzwerte von BMD im Rehwiech für Modell B (nur Jährlingsgeweihe)

BMD_p_k = Knochenmineraldichte des Messbereichs ROI [1]; BMD_p_m = Mittelwert der Knochenmineraldichten der Messbereiche ROI [2] und ROI [3]; BMD_p_r = Knochenmineraldichte des Messbereichs ROI [2]; BMD_p_l = Knochenmineraldichte des Messbereichs ROI [3]; p = präpariert; k = komplett; l = links; r = rechts

Zwischen den Schätzwerten für BMD der Geweihe der Misch- und Waldreviere zeigten sich für alle Messbereiche keine bzw. nur minimale Unterschiede (siehe Abb. 32). Für BMD_p_m überstiegen die Werte der Waldreviere sogar minimal die der Mischreviere (siehe Tab. 9). BMD_p_k war bei den Geweihen der Feldreviere tendenziell um $0,071 \pm 0,054 \text{ g/cm}^2$ höher als bei den Geweihen der Mischreviere und um $0,077 \pm 0,054 \text{ g/cm}^2$ höher als bei den Geweihen der Waldreviere. Die Schätzwerte von BMD_p_m waren bei den Geweihen der Feldreviere tendenziell um $0,116 \pm 0,069 \text{ g/cm}^2$ höher als die der Mischreviere und um $0,102 \pm 0,065 \text{ g/cm}^2$ höher als die der Waldreviere.

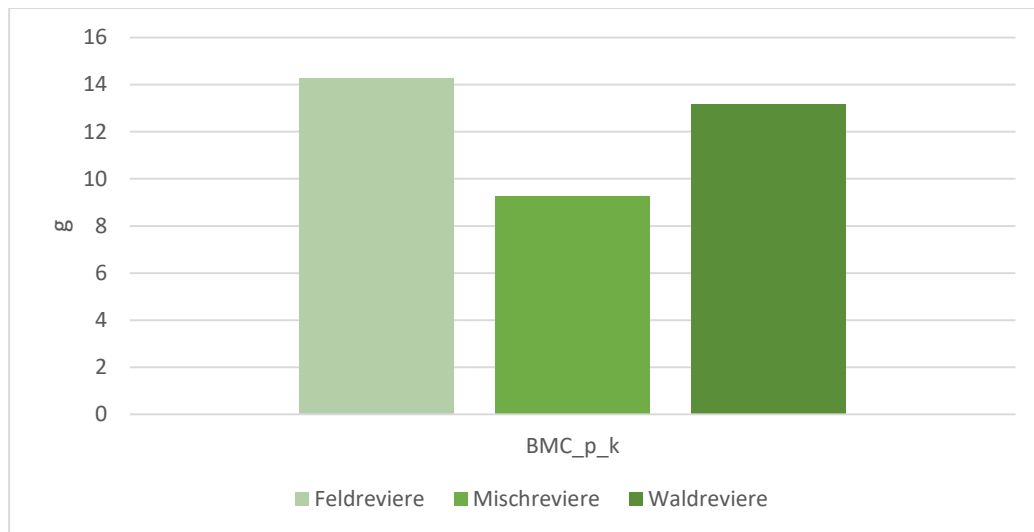


Abbildung 33: Einfluss der Revierklasse auf die Schätzwerte von BMC des Messbereichs ROI [1] im Reggeweih für Modell B (nur Jährlingsgeweihe)

BMC_p_k = Knochenmineralgehalt des Messbereichs ROI [1]; p = präpariert; k = komplett

BMC_p_k zeigte einen Unterschied zu allen anderen Merkmalen (inkl. Modell A). Die Werte der Geweihe der Waldreviere waren tendenziell höher (um $3,91 \pm 2,55$ g) als die der Mischreviere (siehe Abb. 33). Die Schätzwerte der Geweihe aus den Feldrevieren zeigen minimale Differenzen ($1,06 \pm 2,46$ g) zu den Waldrevieren und signifikante Unterschiede ($4,97 \pm 2,44$ g) zu den Mischrevieren.

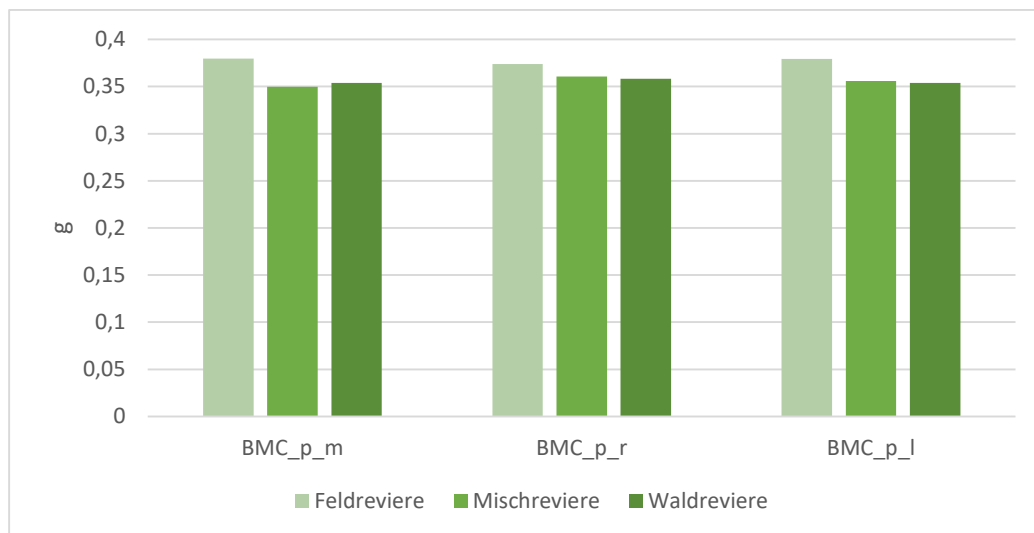


Abbildung 34: Einfluss der Revierklasse auf die Schätzwerte von BMC der Messbereiche ROI [2] und ROI [3] im Reggeweih für Modell B (nur Jährlingsgeweihe)

BMC_p_m = Mittelwert der Knochenmineralgehalten der Messbereiche ROI [2] und ROI [3]; BMC_p_r = Knochenmineralgehalt des Messbereichs ROI [2]; BMC_p_l = Knochenmineralgehalt des Messbereichs ROI [3]; p = präpariert; k = komplett; l = links; r = rechts

Die Schätzwerte für BMC_p_m zeigten wie für BMD_p_m die höchsten Werte für die Geweihe aus den Feldrevieren und ähnliche Werte für Geweihe aus Wald- und

Mischrevieren (siehe Abb. 34). Die Werte der Feldreviere waren dabei um $0,03 \pm 0,02$ g höher als die der Mischreviere und um $0,03 \pm 0,02$ g höher als die der Waldreviere.

Tabelle 9: Übersichtstabelle zu den Ergebnissen der Varianzanalysen für die Modelle A und B

Modell	Effekt	Klasse	BMD_p_k (g/cm ²)	BMC_p_k (g)	BMD_p_m (g/cm ²)	BMC_p_m (g)	BMD_p_r (g/cm ²)	BMC_p_r (g)	BMD_p_l (g/cm ²)	BMC_p_l (g)
A	Altersklasse	1	1,2088 ± 0,0235 ^a	14,9850 ± 1,5361 ^a	1,5741 ± 0,0297 ^a	0,3926 ± 0,0074 ^a	1,5731 ± 0,0296 ^a	0,3932 ± 0,0074 ^a	1,5670 ± 0,0303 ^a	0,3915 ± 0,0076 ^a
		2	1,4182 ± 0,0314 ^b	40,1639 ± 2,0540 ^b	1,8584 ± 0,0371 ^b	0,4645 ± 0,0093 ^b	1,8596 ± 0,0383 ^b	0,4652 ± 0,0096 ^b	1,8563 ± 0,0392 ^b	0,4636 ± 0,0098 ^b
		3	1,6111 ± 0,0299 ^c	61,5249 ± 1,9569 ^c	2,0645 ± 0,0354 ^c	0,5165 ± 0,0089 ^c	2,0583 ± 0,0365 ^c	0,5150 ± 0,0091 ^c	2,0706 ± 0,0373 ^c	0,5180 ± 0,0094 ^c
	Revierklasse	Feld	1,4406 ± 0,0305 ^a	41,9890 ± 1,9979 ^a	1,8942 ± 0,0377 ^a	0,4736 ± 0,0094 ^a	1,8767 ± 0,0380 ^a	0,4696 ± 0,0095 ^a	1,8922 ± 0,0389 ^a	0,4728 ± 0,0098 ^a
		Misch	1,4247 ± 0,0277 ^a	39,2519 ± 1,8155 ^{ab}	1,8489 ± 0,0340 ^a	0,4623 ± 0,0085 ^a	1,8604 ± 0,0345 ^a	0,4657 ± 0,0086 ^a	1,8531 ± 0,0353 ^a	0,4630 ± 0,0089 ^a
		Wald	1,3728 ± 0,0257 ^a	35,4329 ± 1,6803 ^b	1,7513 ± 0,0304 ^b	0,4377 ± 0,0076 ^b	1,7539 ± 0,0313 ^b	0,4381 ± 0,0078 ^b	1,7486 ± 0,0320 ^b	0,4373 ± 0,0081 ^b
	Bast	n	1,2344 ± 0,0229	15,5150 ± 1,0345	1,5945 ± 0,0283	0,3984 ± 0,0072	1,6021 ± 0,0285	0,4003 ± 0,0072	1,5885 ± 0,0298	0,3971 ± 0,0075
		y	0,9369 ± 0,0732	8,9646 ± 3,3092	1,2987 ± 0,0851	0,3237 ± 0,0215	1,3131 ± 0,0884	0,3283 ± 0,0224	1,3223 ± 0,0922	0,3288 ± 0,0234
	Revierklasse	Feld	1,1350 ± 0,0406 ^a	14,2514 ± 1,8361 ^a	1,5193 ± 0,0479 ^a	0,3796 ± 0,0121 ^a	1,4927 ± 0,0494 ^a	0,3740 ± 0,0125 ^a	1,5221 ± 0,0515 ^a	0,3792 ± 0,0130 ^a
		Misch	1,0637 ± 0,0545 ^a	9,2803 ± 2,4646 ^b	1,4032 ± 0,0677 ^a	0,3497 ± 0,0171 ^a	1,4456 ± 0,0683 ^a	0,3608 ± 0,0173 ^a	1,4277 ± 0,0713 ^a	0,3559 ± 0,0180 ^a
		Wald	1,0581 ± 0,0534 ^a	13,1878 ± 2,4120 ^{ab}	1,4173 ± 0,0618 ^a	0,3539 ± 0,0156 ^a	1,4345 ± 0,0643 ^a	0,3581 ± 0,0163 ^a	1,4164 ± 0,0671 ^a	0,3538 ± 0,0170 ^a

Unterschiedliche Superskripts bezeichnen die signifikanten Unterschiede ($p < 0,05$) in den jeweiligen Spalten innerhalb der Effekte, die mehr als zwei Klassen aufweisen.

BMD_p_k = Knochenmineraldichte des Messbereichs ROI [1]; BMC_p_k = Knochenmineralgehalt des Messbereichs ROI [1]; BMD_p_m = Mittelwert der Knochenmineraldichten der Messbereiche ROI [2] und ROI [3]; BMC_p_m = Mittelwert der Knochenmineralgehalte der Messbereiche ROI [2] und ROI [3]; BMD_p_r = Knochenmineraldichte des Messbereichs ROI [2]; BMC_p_r = Knochenmineralgehalt des Messbereichs ROI [2]; BMD_p_l = Knochenmineraldichte des Messbereichs ROI [3]; BMC_p_l = Knochenmineralgehalt des Messbereichs ROI [3]; p = präpariert; y = Bast vorhanden; n = bastlos

2. Ergebnisse Versuch 2

2.1. Verteilung der Körpermasse (ausgeweidet)

Im Rahmen dieser Arbeit wurden das erste Mal Ganzkörperanalysen von Rehböcken (ausgeweidet) mittels DXA durchgeführt. Die Verteilung der gemessenen Körpermassen der 13 Tiere stellte sich wie folgt dar: Die ermittelten Körpermassen lagen zwischen 9,7 und 19,0 kg, der Mittelwert beträgt $15,4 \pm 3,0$ kg (siehe Abb. 35).

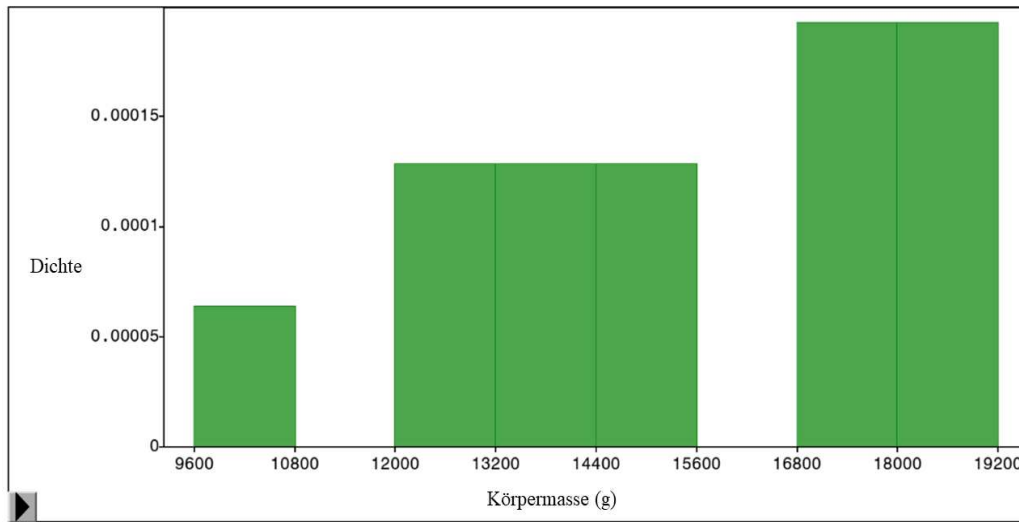


Abbildung 35: Verteilung der mittels DXA bestimmten Körpermassen (nach dem Ausweiden in der Decke mit Haupt)

Da auf die weiteren DXA-Messwerte nicht näher eingegangen werden soll, werden nachfolgend nur die phänotypischen Merkmale der 13 Böcke in der Tab. 10 dargestellt.

Tabelle 10: Deskriptive Statistik zur DXA-Ganzkörperanalyse der ausgeweideten Rehböcke

Merkmal	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
Fett (%)	5.40	7.80	6.51	0.64
Gesamtmasse (g)	9734.7	18981.9	15391.68	2974.2
Fett (g)	539	1388	958.15	247.94
Magergewebe (g)	8656	16711	13633.46	2610.20
BMD (g/cm ²)	0.637	0.960	0.777	0.097
BMC (g)	539.70	1015.90	799.98	139.55

BMD = Knochenmineraldichte; BMC = Knochenmineralgehalt

Von insgesamt 57 Trophäen lagen die Angaben zur Körpermasse der Böcke im ausgeweideten Zustand (inklusive Decke und Kopf) bei. Unter Einbeziehung aller

Daten zur Körpermasse, einschließlich der mittels DXA gemessenen, ergab sich die in Abb. 36 gezeigte Verteilung. Die ermittelten Körpermassen lagen zwischen 9 und 21 kg, der Mittelwert lag bei $15,3 \pm 2,8$ kg. Folglich spiegeln die mittels DXA analysierten Rehböcke sehr gut das Spektrum der insgesamt untersuchten Rehböcke wider.

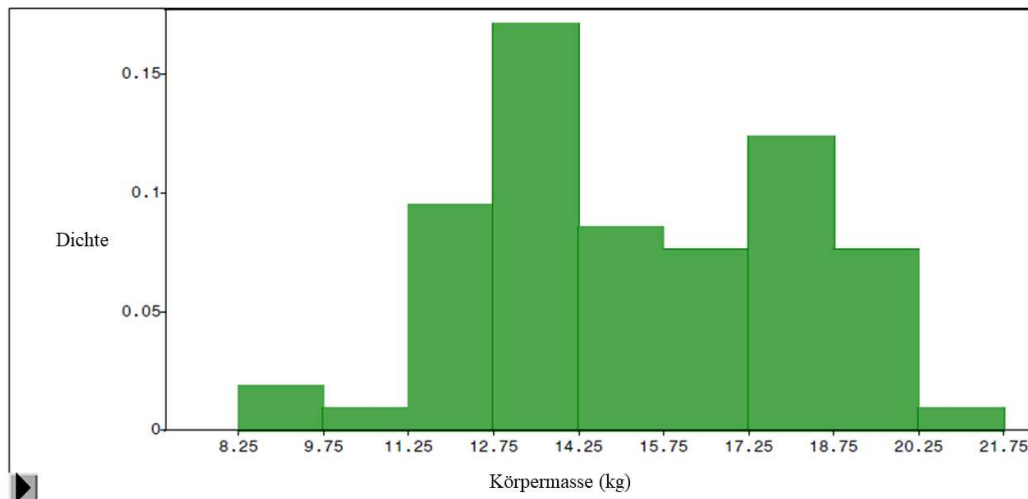


Abbildung 36: Verteilung aller vorliegender Rehbock-Körpermassen (ausgeweitet) einschließlich der von den Jägern übermittelten Werte

Die Tiere dieser Studie erreichten die maximale Körpermasse zwischen dem vierten und dem fünften Lebensjahr. Die Körpermasse stieg nach dem ersten Lebensjahr steil an, ab dem sechsten Lebensjahr nahm sie wieder tendenziell ab (siehe Abb. 37).

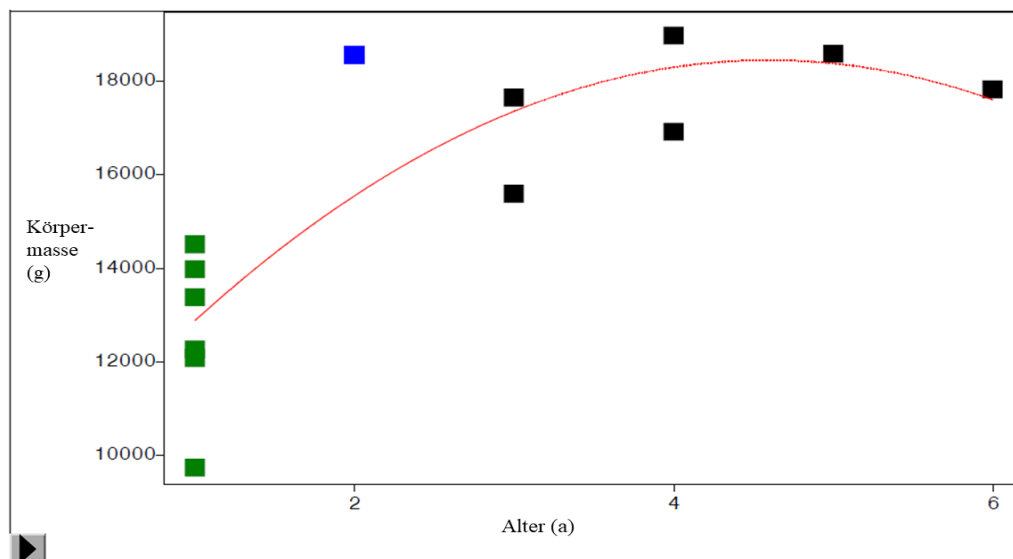


Abbildung 37: Beziehung der mittels DXA gemessenen Körpermassen (ausgeweitet) zum geschätzten Alter

grün = Altersklasse 1, blau = Altersklasse 2, schwarz = Altersklasse 3
 $(y = 9,34 + 3,965 \times \text{Alter} - 0,4312 \times \text{Alter}^2; R^2 = 0,72; \text{RMSE} = 1,72462 \text{ kg})$

Unter Einbeziehung der von den Jägern übermittelten Körpermassen ergab sich eine ähnliche Entwicklung (siehe Abb. 38). Die aufgebrochene Körpermasse stieg vom Jährlingsalter bis zum vierten bzw. fünften Lebensjahr an, ab dem sechsten Lebensjahr sank sie wieder tendenziell.

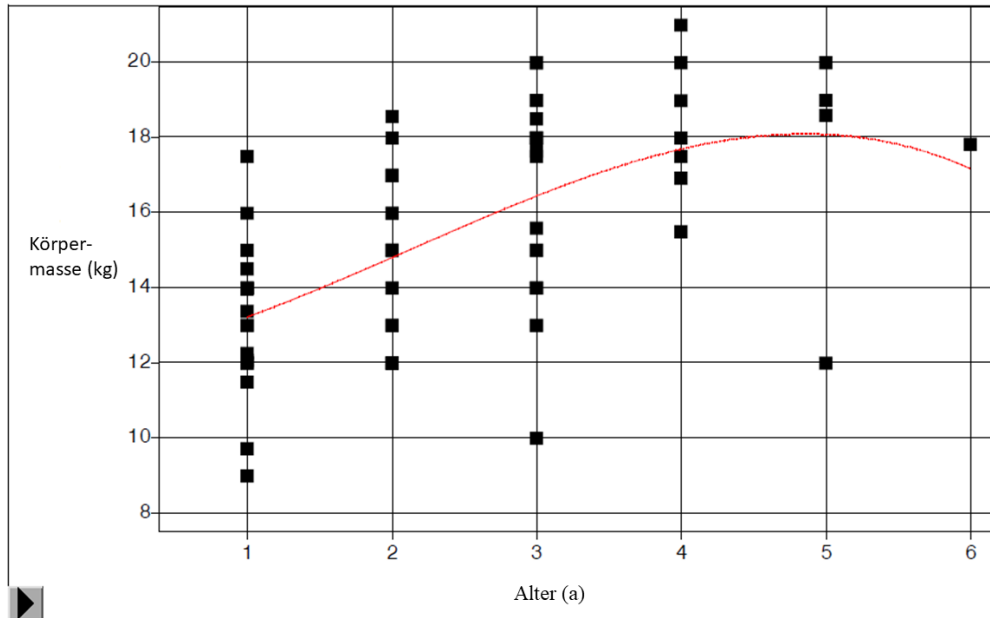


Abbildung 38: Beziehung der Rehbock-Körpermassen (ausgeweitet) einschließlich der von den Jägern übermittelten Werte zum Alter

($Körpermasse = 8,364 + 4,273 \times Alter - 0,4841 \times Alter^2$; $R^2 = 0,4487$; $RMSE = 2,56609 \text{ kg}$)

3. Beziehungen zwischen den Merkmalen

3.1. Beziehungen zwischen frischen und präparierten Geweihen

Zur Überprüfung der Methodik der Präparation wurden Regressionsanalysen durchgeführt, die die Beziehung der Knochenmineraldichte der jeweiligen Messpunkte ROI [1], [2] und [3] der 19 frisch vorgelegten Geweihe BMD_f_k, BMC_f_k, BMD_f_r, BMC_f_r, BMD_f_l und BMC_f_l zu den Werten nach der Präparation darstellen.

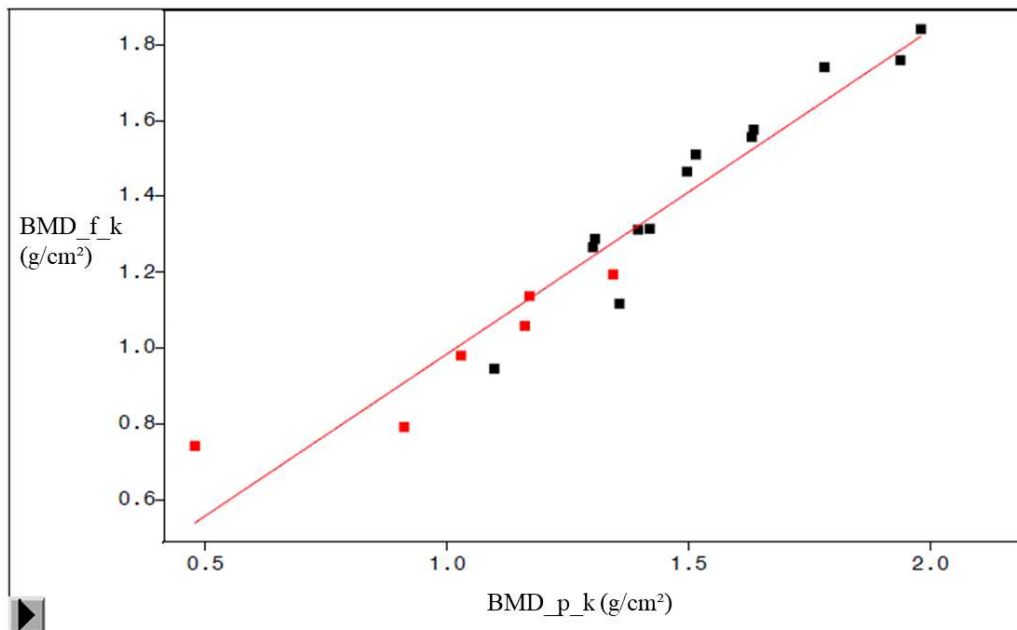


Abbildung 39: Beziehung zwischen BMD_f_k und BMD_p_k

BMD = Knochenmineraldichte; f = frisch; p = präpariert; k = komplett; rot = Altersklasse 1; schwarz = Altersklassen 2 und 3

($BMD_f_k = 0,8537 \times BMD_p_k + 0,1292$; $R^2 = 0,9248$; $RMSE = 0,0902 \text{ g/cm}^2$)

Die Knochenmineraldichten des Gesamtgeweihs in frischem und präpariertem Zustand zeigten eine enge Beziehung (siehe Abb. 37).

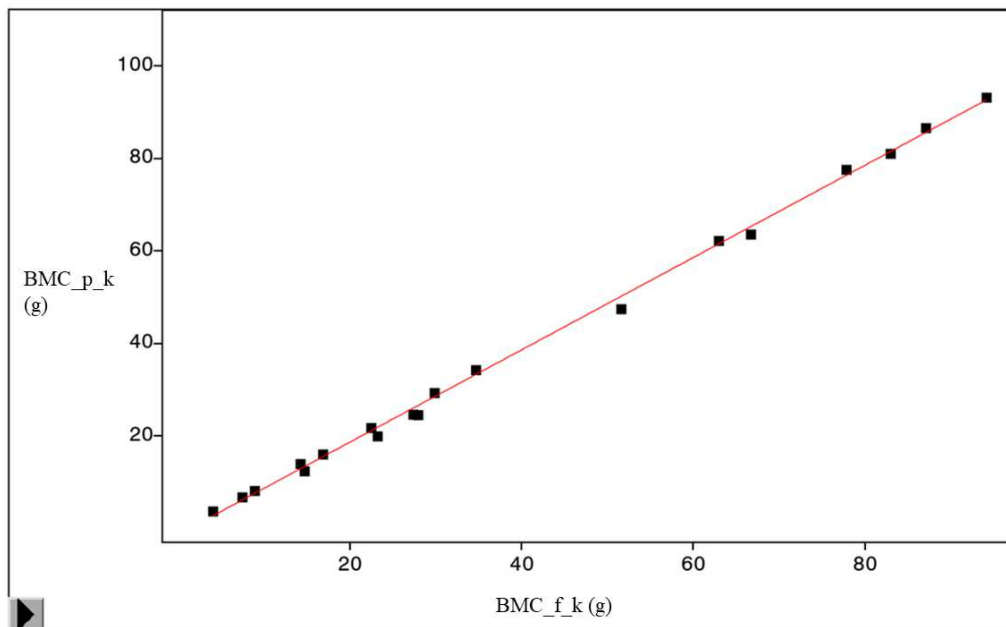


Abbildung 40: Beziehung zwischen BMC_f_k und BMC_p_k

BMC = Knochenmineralgehalt; f = frisch; p = präpariert; k = komplett

($BMC_p_k = 0,9973 \times BMC_f_k + 1,3718$; $R^2 = 0,9982$; $RMSE = 1,3069 \text{ g}$)

Die Werte für den Knochenmineralgehalt des Gesamtgeweihs (ROI [1]) stimmten mit $R^2 = 0,9982$ in sehr hohem Maße überein (siehe Abb. 38).

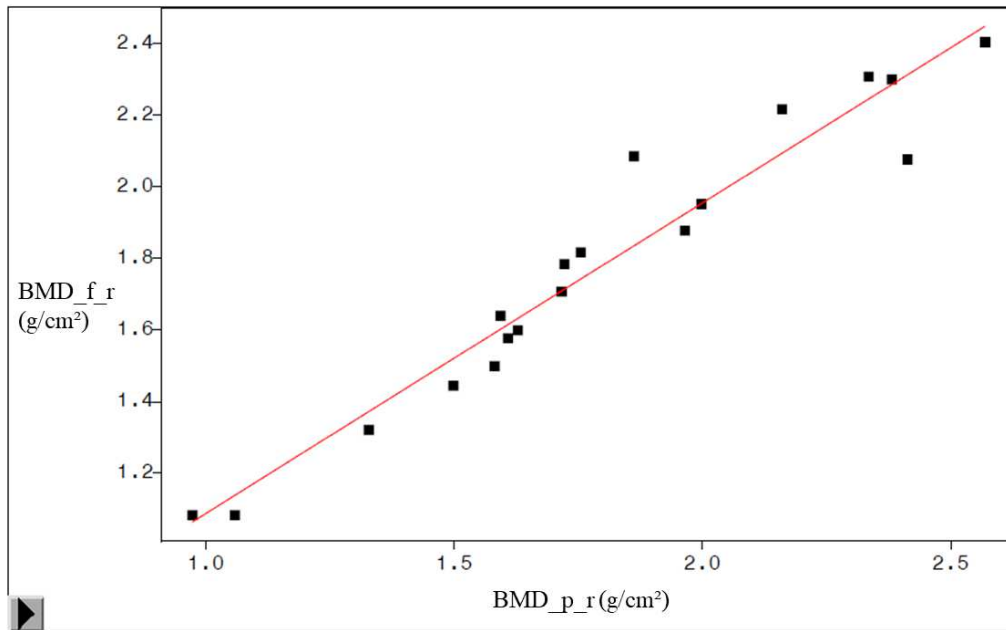


Abbildung 41: Beziehung zwischen BMD_f_r und BMD_p_r

BMD = Knochenmineraldichte, f = frisch; p = präpariert; r = rechts

($BMD_f_r = 0,8671 \times BMD_p_r + 0,2196$; $R^2 = 0,9375$; $RMSE = 0,1018 \text{ g/cm}^2$)

Die enge Beziehung setzte sich für Ergebnisse des Messbereichs der rechten Stangenbasis (ROI [2]) fort (siehe Abb. 41 und 42).

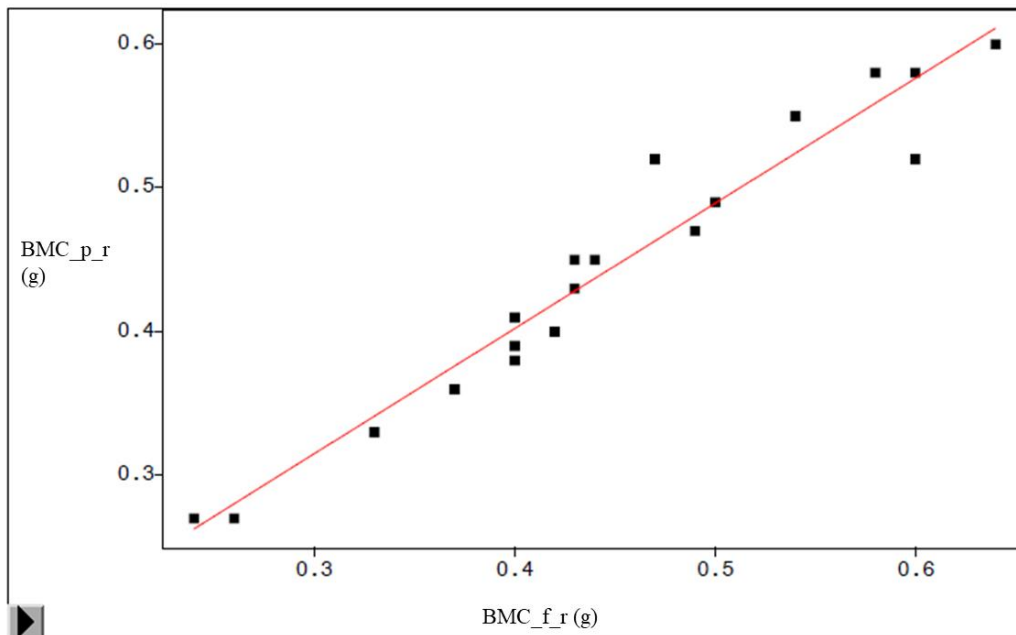


Abbildung 42: Beziehung zwischen BMC_f_r und BMC_p_r

BMC = Knochenmineralgehalt; f = frisch; p = präpariert; r = rechts

($BMD_p_r = 0,8717 \times BMC_f_r + 0,0529$; $R^2 = 0,9436$; $RMSE = 0,0243 \text{ g}$)

Auch für den Messbereich der linken Stangenbasis (ROI [3]) gab es ein hohes Maß an Übereinstimmung zwischen den Werten der frischen und der präparierten

Geweibe (siehe Abb. 43 und 44).

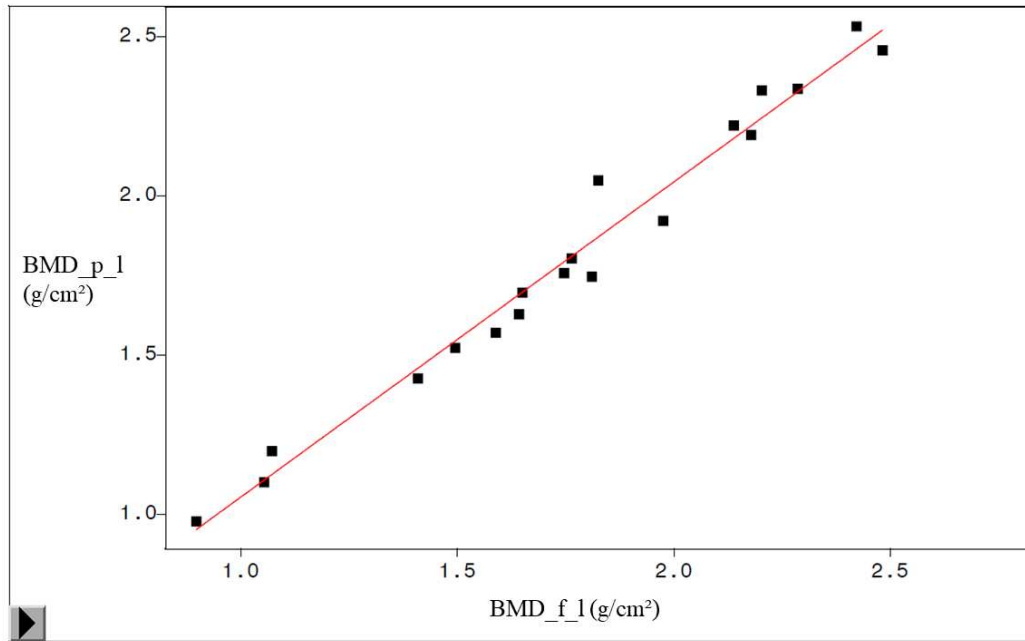


Abbildung 43: Beziehung zwischen BMD_f_l und BMD_p_l

BMD = Knochenmineraldichte; f = frisch; p = präpariert; l = links

($BMD_p_l = 0,9898 \times BMD_f_l + 0,00623$; $R^2 = 0,9764$; $RMSE = 0,0725 \text{ g/cm}^2$)

Insgesamt war das Bestimmtheitsmaß für die Beziehung zwischen BMD_f_k und BMD_p_k mit $R^2 = 0,9248$ am niedrigsten. Darauf folgten die Ergebnisse für den Messbereich der rechten Stangenbasis (ROI [2]). Die höchsten Werte für R^2 fanden sich für die BMC des Gesamtgeweihs und die Werte für den Messbereich der linken Stangenbasis (ROI [3]).

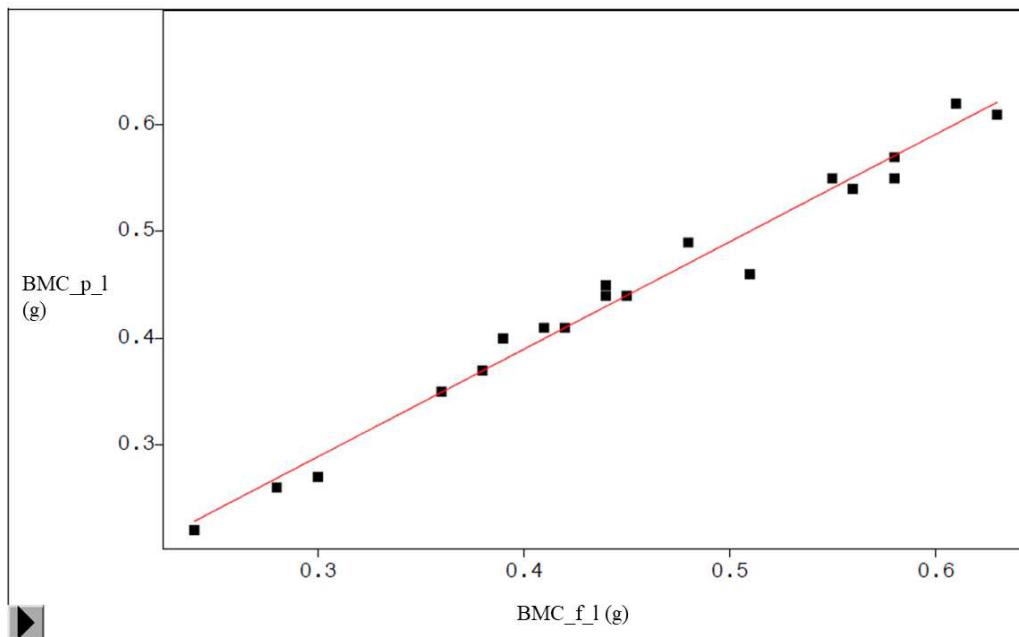


Abbildung 44: Beziehung zwischen BMC_p_l und BMC_f_l

BMC = Knochenmineralgehalt; f = frisch; p = präpariert; l = links

($BMC_{p_l} = 1,0079 \times BMC_{f_l} + 0,0141$; $R^2 = 0,9806$; $RMSE = 0,0166$ g)

3.2. Beziehungen zwischen DXA-Messwerten und der Körpermasse (ausgeweitet)

Zusätzlich wurden mehrere Regressionsanalysen zur Ermittlung der Beziehung zwischen Körpermasse (ausgeweitet) und den Ergebnissen der DXA-Analyse durchgeführt. Hierfür wurden die Ergebnisse vom Gesamtgeweih (ROI [1]) und die Mittelwerte der beiden Messbereiche der Stangenbasen BMD_p_m und BMC_p_m verwendet. Mit zunehmender Körpermasse nahmen sowohl BMD als auch BMC aller Messbereiche zu.

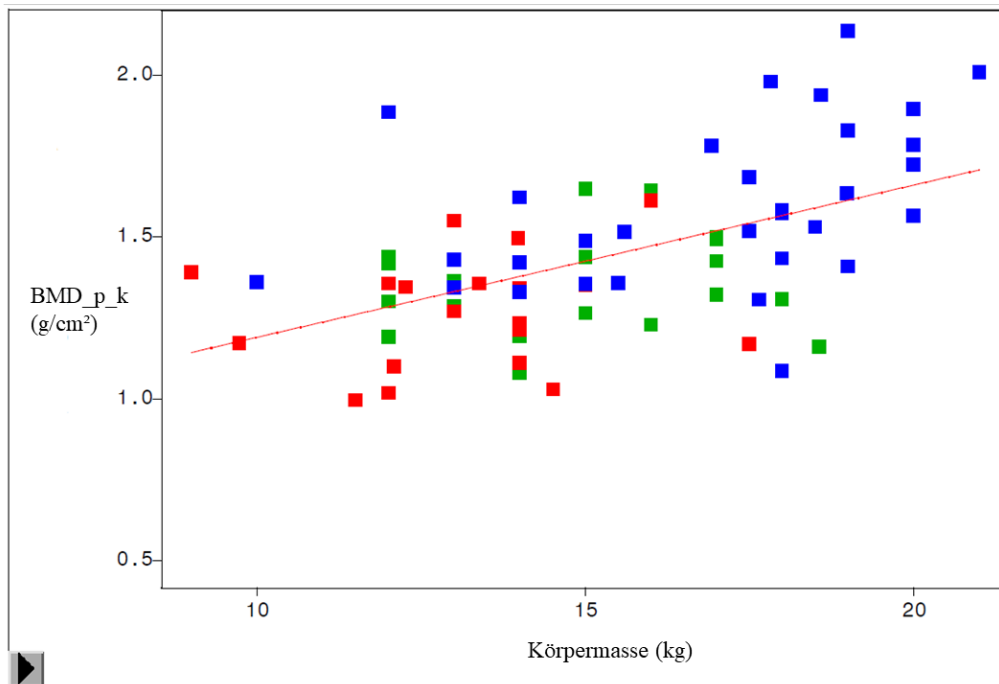


Abbildung 45: Beziehung zwischen Körpermasse und BMD_p_k

BMD = Knochenmineraldichte; p = präpariert; k = komplett; rot = Altersklasse 1; grün = Altersklasse 2; blau = Altersklasse 3

($BMD_p_k = 0,0441 \times \text{Körpermasse} + 0,7182$; $R^2 = 0,2826$; $RMSE = 0,2140 \text{ g/cm}^2$)

Mit zunehmender Körpermasse nahmen sowohl BMD als auch BMC aller Messbereiche zu. Für BMD_p_k war R^2 mit 0,2826 im Vergleich zu den anderen Merkmalen am niedrigsten (siehe Abb. 45).

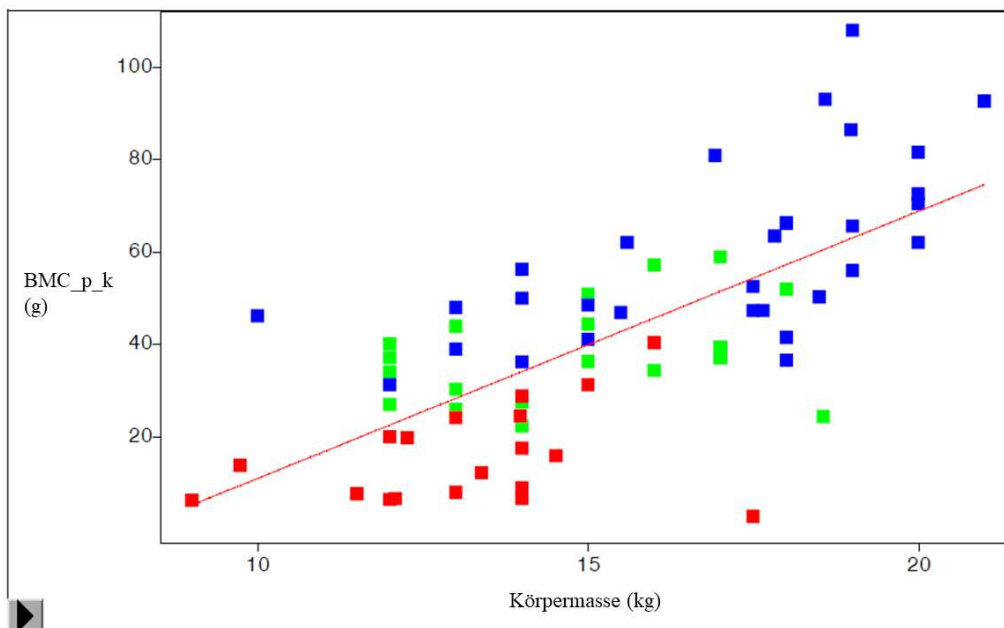


Abbildung 46: Beziehung zwischen Körpermasse und BMC_p_k

BMC = Knochenmineralgehalt; p = präpariert; k = komplett; rot = Altersklasse 1; grün = Altersklasse 2; blau = Altersklasse 3

($BMC_p_k = 5,7804 \times \text{Körpermasse} - 46,7897$; $R^2 = 0,4916$; $RMSE = 16,7739 \text{ g}$)

Die engste Beziehung mit $R^2 = 0,4916$ zu der Körpermasse zeigte BMC_p_k (siehe Abb. 46).

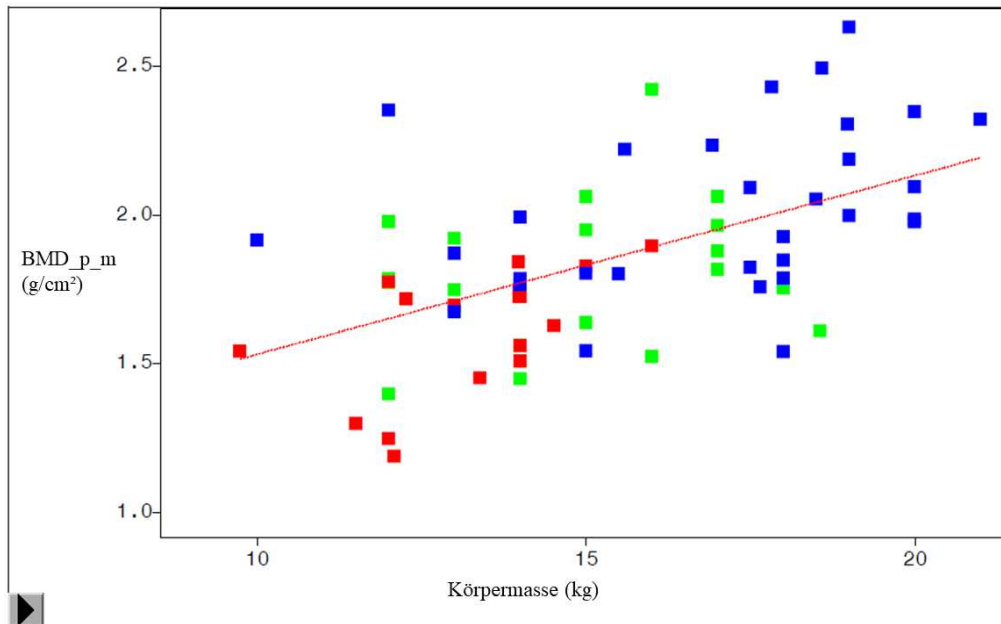


Abbildung 47: Beziehung zwischen Körpermasse und BMD_p_m

BMD = Knochenmineraldichte; p = präpariert; m = Durchschnitt der Messbereiche der Stangenbasen (ROI [2] und [3]); rot = Altersklasse 1; grün = Altersklasse 2; blau = Altersklasse 3

(BMD_p_m = 0,0601 x Körpermasse + 0,9301; $R^2 = 0,3001$; RMSE = 0,2555 g/cm²)

Auch für die Mittelwerte der Messbereiche der Stangenbasen zeigte sich eine enge Beziehung zu den Ergebnissen der Körpermasse (siehe Abb. 47 und 48).

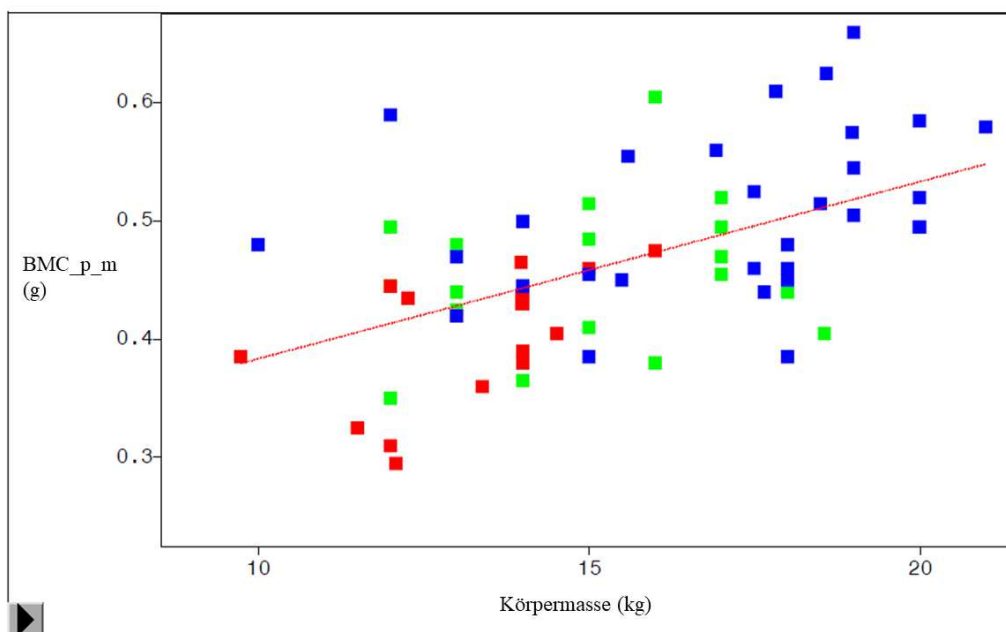


Abbildung 48: Beziehung zwischen Körpermasse und BMC_p_m

BMC = Knochenmineralgehalt; p = präpariert; m = Durchschnitt der Messbereiche der Stangenbasen (ROI [2] und [3]); rot = Altersklasse 1; grün = Altersklasse 2; blau = Altersklasse 3

(BMC_p_m = 0,015 x Körpermasse + 0,2330; $R^2 = 0,2972$; RMSE = 0,0641 g)

V. DISKUSSION

1. Versuchsmaterial

1.1. Versuch 1 - Geweihscan

1.1.1. Einteilung in Revierklassen

Im Rahmen dieser Studie wurden die Reviere aufgrund ihres prozentualen Waldanteils in drei Revierklassen eingeteilt. Die Einteilung wird durch die signifikanten Einflüsse der Revierklasse auf BMD und BMC bestätigt. Dabei wurde der Einfluss einerseits auf die Böcke aller Altersklassen (Modell A) und auf die Geweihe der Jährlinge (Modell B) untersucht.

In mehreren Studien wurden bereits signifikante Einflüsse des Waldanteils auf verschiedene Geweihmerkmale ermittelt. Wajdzik et al. (2016) teilten die Reviere ihrer Studie in drei Revierklassen ein, die der Feldreviere mit < 20 % Waldanteil, die Mischreviere mit 20 - 40 % Waldanteil und in die Klasse > 40 % Waldanteil. Die Autoren fanden signifikant schwerere Geweihe bei Tieren aus Revieren niedrigeren Waldanteils. Czyżowski et al. (2018) untersuchten die Geweihe aus fünf Regionen Polens und bezogen in ihre Analyse auch den prozentualen Waldanteil der jeweiligen Region mit ein, hier wurden jedoch nur Böcke im Alter zwischen vier und sieben Jahren in die Untersuchung einbezogen.

Bei der Auswahl der Reviere und der Geweihe dieser Studie wurde darauf geachtet, dass sowohl Reviere niedrigen, mittleren als auch sehr hohen Waldanteils vertreten waren. Dies ist für Modell A insoweit geglückt, die Verteilung der Geweihe in die drei Revierklassen (siehe Abb. 14) ist relativ ausgeglichen, wobei die Einteilung der Revierklassen in der vorliegenden Dissertationsschrift von der Einteilung bei Czyżowski et al. (2018) abweicht. Für Modell B besteht ein leichter Überhang an Jährlingsgeweihen aus Mischrevieren (siehe Abb. 15).

Bei der Betrachtung der verwendeten Reviere fällt auf, dass kein Revier mit einem Waldanteil zwischen 55,1 und 98 % vertreten ist. Somit wird die Revierklasse „Waldreviere“, definiert als Reviere mit über 80 % Waldanteil, repräsentiert von einem Revier mit 98 % und zweien mit 100 % Waldanteil. Weiterhin gibt es in der Revierklasse „Mischreviere“ eine weite Spanne zwischen 55,1 und 80 %, die nicht repräsentiert ist. In nachfolgenden Studien wäre es demnach sinnvoll, eine noch größere Revieranzahl zu wählen. Dies hätte den Vorteil, dass die Reviere in mehr

als drei Revierklassen aufgeteilt werden könnten. Dies würde weiterhin ermöglichen, dass nicht, wie in dieser Arbeit, eine Revierklasse einen so großen Bereich von 20 - 80 % Waldanteil abdeckt, in der Rehe durchaus unterschiedliche Lebensbedingungen vorfinden können. Zu beachten ist außerdem, dass die Geweihe bei allen Revieren aus unterschiedlichen Jahren stammen und somit der Einfluss der jeweiligen klimatischen Schwankungen innerhalb der Jahre (Landete-Castillejos et al. 2010) nicht berücksichtigt werden kann.

Die Ergebnisse dieser Studie können jedoch sehr gut als Grundlage für weitere Arbeiten dienen, den Einfluss anderer Umweltparameter auf die Geweihmineralisierung zu ermitteln. Durch die traditionelle Präparation und die Aufbewahrung von Trophäen durch Jäger liegen große Mengen an potentiell Untersuchungsmaterial vor. Die Jäger als Trophäenbesitzer bzw. die zuständigen Revierinhaber oder Jagdausübungsberechtigten können in der Regel aussagekräftige Informationen über den Lebensraum des erlegten Tieres geben. So könnte der Einfluss des Vorkommens und des Anteils von Heckenbereichen (siehe Abb. 49) innerhalb der Reviere einen Einfluss auf die Geweihentwicklung haben. Hecken und Sträucher können besonders in waldarmen Regionen die Funktionen des Waldes bezüglich Deckung und Winternahrung zumindest teilweise erfüllen (Morellet et al. 2011).



Abbildung 49: Rehwild im heckenreichen Revierteil des Lehr- und Versuchsgutes Oberschleißheim (Der größere Anteil der Rehe ruht an oder in der Hecke im Hintergrund - speziell links im Bild); © A.M. Scholz

Auch für andere wichtige Revierparameter wie die Phänologie im Hinblick auf wichtige Futterpflanzen (Pettorelli et al. 2003), die Populationsdichte (Pettorelli et al. 2003), ein Indikator des landwirtschaftlichen Einflusses (Czyżowski et al. 2018)

oder die Anwesenheit von Prädatoren (Ballard et al. 2001; Mattioli et al. 2004; Osborn und McConnel M. D. 2016; Gulsby et al. 2018) bieten sich Studien mit DXA an. Diese können außerdem die Einteilung der Reviere in Nadel-, Laub- oder Mischwald sowie einen Index für die Waldfragmentierung wie bei Czyżowski et al. (2018) umfassen.

Außerdem waren keine Daten über die Zusammensetzung der waldfreien Fläche bekannt. Es ist nicht davon auszugehen, dass diese in allen Revieren vollständig von Ackerfläche bedeckt ist. Es konnten auch keine Informationen zu den Ackerfrüchten der jeweiligen landwirtschaftlichen Flächen, wenn vorhanden, gesammelt werden. Hier sind weitere Studien nötig.

1.1.2. Einteilung in Altersklassen

In mehreren Studien konnte bereits gezeigt werden, dass das Alter der Böcke einen signifikanten Einfluss auf das Geweih hat. Die Geweihe, die in dieser Studie untersucht wurden, wurden für das Modell A in drei Altersklassen (Jährlinge, Zweijährige und mind. drei Jahre alte Tiere) eingeteilt.

Vanpé et al. (2007) wählten ein anderes Dreiklassenmodell bezüglich des Alters. Dabei wurde zwischen Jährlingen, Tieren im Primäralter (2 - 7 Jahre) und Tieren im Seneszenzstadium (älter als 8 Jahre) unterschieden. Die signifikanten Unterschiede zwischen zweijährigen und älteren Böcken im Rahmen dieser Arbeit zeigen jedoch, dass die gewählte Klasseneinteilung sinnvoll ist.

Auf die Auswahl der Geweihe aus den jeweiligen Revieren konnte, abgesehen von den Revieren Oberschleißheim und Obergrashof, wenig Einfluss ausgeübt werden. Zwar gibt es keine Hinweise dafür, jedoch besteht die Möglichkeit, dass die Jäger keine repräsentative Auswahl der Trophäen des jeweiligen Reviers ausgewählt haben, um diese für die Studie zur Verfügung zu stellen. Dies gilt nicht für die Ergebnisse der Reviere Oberschleißheim und Obergrashof, für die Geweihe aller erlegten Böcke aus zwei Jagdjahren untersucht wurden. Trotzdem sind insgesamt die Anteile der Geweihe in den drei Altersklassen ähnlich verteilt (siehe Abb. 13). Leider war bei den Tieren dieser Studie die Altersbestimmung anhand der Zähne nicht möglich, sodass das Alter anhand der Größe und Stärke der Schädel, der Rosenstöcke und der Geweihe geschätzt werden musste. Bei den Trophäen, deren Alter durch den Jäger gekennzeichnet war, wurde diese Einschätzung übernommen. Die Ermittlung des Alters von Rehen anhand des Geweihs ist nicht immer eindeutig, gerade dann, wenn es um Tiere geht, die älter als 2 Jahre alt sind. Die

Wahrscheinlichkeit einer korrekten Einschätzung eines erfahrenen Jägers, ob ein Geweih zu einem Jährling, einem Zweijährigen oder einem älteren Bock zuzuordnen ist, ist jedoch sehr hoch. Aus diesem Grund wurden alle Böcke, die auf älter als zwei Jahre geschätzt wurden, einer gemeinsamen Altersklasse 3 zugeteilt. Für eine genauere Betrachtung der Veränderungen von Knochenmineraldichte und -menge in den Altersgruppen über zwei Jahren sind weitere Studien mit genaueren Altersinformationen sowie einer größeren Anzahl an Geweihen der höheren Altersgruppen notwendig. Aufgrund der geringen Anzahl von Geweihen sehr hohen Alters sowie die Schwierigkeit, das Alter der Geweihe von älteren Tieren anhand des Geweihes selbst zu schätzen, konnte bei der Einteilung der Klassen keine Klasse des Senessenzstadiums wie bei Vanpé et al. (2007) erstellt werden.

1.1.3. Bastgeweihe

Die Unterteilung der Geweihe in bastbedeckt und gefegt ist eindeutig. Leider lagen nur acht der 71 Jährlingsgeweihe im Bast vor, aus sechs Revieren standen gar keine Bastgeweihe zur Verfügung.

Eine Untersuchung des Einflusses von Bast auf Knochenmineraldichte und -gehalt wäre auch für alle anderen Altersklassen sinnvoll. Leider lag nur ein einziges Geweih vor, welches bastbedeckt war und nicht in die Altersklasse 1 einzuordnen ist. Dies liegt auch daran, dass ältere Böcke den Bast früher fegen (Barth et al. 1976) und somit in der Jagdsaison häufig keinen Bast mehr aufweisen (siehe Abb. 50).



Abbildung 50: Bock im Bast (links) und Bock bereits gefegt (rechts); (Revier Lehr- und Versuchsgut Oberschleißheim); © A.M. Scholz

Ferner ist davon auszugehen, dass bei älteren Böcken mit der Aussicht auf eine starke Trophäe die Motivation, die Tiere vor Vollendung des Geweihwachstums zu erlegen, eher gering ist, was das fehlende Vorliegen solcher Untersuchungsobjekte zumindest ansatzweise erklären kann. Zu diskutieren ist außerdem, dass in dieser Studie nicht unterschieden wurde, in welchem Wachstumsstadium innerhalb der Kolbenzeit sich ein Bastgeweih befand. Es ist davon auszugehen, dass Geweihe in einer sehr frühen Wachstumsphase andere Knochenmineraldichten und -mengen aufweisen als solche Bastgeweihe kurz vor dem Fegen. Um den Einfluss des Basts in verschiedenen Altersklassen sowie Unterschiede während der Kolbenzeit zu ermitteln, sind weitere Studien nötig.

1.2. Versuch 2 - Ganzkörperscan

Insgesamt war die Probenzahl des zweiten Versuchs dieser Studie mit 13 Tieren gering. Die Ergebnisse der Varianzanalysen (siehe Anhang) sind somit nur als Grundlage für weitere Untersuchungen zu betrachten. Wie bereits beschrieben, ist die Entwicklung der Körpermasse innerhalb des ersten Lebensjahres von entscheidender Bedeutung für die physische Kondition des späteren adulten Tieres (Gaillard et al. 1993b; Pettorelli et al. 2002; Pettorelli et al. 2003). Dementsprechend wäre die Untersuchung der Körperzusammensetzung in diesem Zeitraum für folgende Studien besonders interessant. In diesem Fall müsste die Alterseinteilung wie in dieser Studie in Jahresklassen für das erste Lebensjahr weiter ausdifferenziert werden.

1.2.1. Altersschätzung

Die Altersschätzung der Böcke erfolgte durch den Jagdausübungsberechtigten, der diese Reviere schon seit längerer Zeit (> 10 Jahre) bejagt. Hier sei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass zwar auch diese Altersangaben Schätzwerte sind, in die Schätzung flossen neben dem Geweih auch weitere Merkmale ein. Diese sind neben dem Abrieb der Zähne auch die Körperkonstitution sowie die Beobachtung der Tiere durch den Jäger über einen langen Zeitraum. Der große Grad an Übereinstimmung zwischen den Beziehungen von Körpermasse und Alter der Böcke, bei denen in dieser Studie das Alter geschätzt wurde (siehe Abb. 37) und von den Altersschätzungen einschließlich der beiliegenden Daten von zehn erfahrenen Jägern (siehe Abb. 38) lässt vermuten, dass die Altersschätzung in dieser Arbeit keine große Fehlerquelle darstellt.

2. Methodik

2.1. Versuch 1 - Geweihscan

2.1.1. Präparation

Die frischen Geweihe wurden nach dem ersten Scan wie beschrieben präpariert. Jedoch ist nicht bekannt, auf welche Art und Weise bei den Geweihen vorgegangen worden ist, die bereits präpariert vorlagen und in wie weit dies einen Einfluss auf Knochenmineraldichte und -menge haben könnte. Da bei Präparationen allgemein jedoch davon auszugehen ist, dass versucht wird, das Geweih so natürlich wie möglich zu belassen und vor allem den Schädel von Weichgewebe zu befreien, ist diese Fehlerquelle als gering einzustufen.

Die Präparation der Geweihe für diese Studie hatte nur einen sehr geringen Einfluss auf die Veränderung der Werte (siehe Abb. 39 - 44), wobei die leichten Variationen auch durch eine leicht veränderte Lagerung vor und nach der Präparation verursacht worden sein können. Die Ergebnisse der Regressionsanalysen zeigen weiterhin deutlich, dass die Untersuchung präparierter Geweihe dazu geeignet ist, die Geweihqualität zum Zeitpunkt des Erlegens zu bemessen.

2.1.2. Messung der Knochenmineraldichte von Geweihen mittels DXA

In dieser Studie wurde die Ermittlung von BMD und BMC mittels DXA zum ersten Mal an Rehgeweihen durchgeführt. Die Ergebnisse der DXA korrelieren eng mit chemischen Analysen und bieten eine hohe Genauigkeit, Aussagekraft, Vorhersagemöglichkeit (Mitchell et al. 1998; Scholz et al. 2004). Es ist also zu erwarten, dass die Nutzung am knöchernen Organ Geweih Rückschlüsse auf die Geweihqualität und damit auf die Gesundheit und die Wachstumsbedingungen der Tiere zulässt. Vorteil des knöchernen Organs Geweih gegenüber anderen Geweben für die Untersuchung mittels DXA ist, dass Messfehler durch das Fehlen von Fettmark und Fettgewebe hinter und vor dem Knochen sowie Weichgewebeminerale ausgeschlossen sind, da das Geweih als Knochen ohne umgebendes Gewebe vorliegt.

Ein großer Vorteil der gewählten Methodik ist, dass die Trophäe bei dieser Untersuchung nicht beschädigt werden muss, was besonders die Akzeptanz dieser Untersuchung der Trophäenbesitzer erhöhte. Es gibt nicht die Notwendigkeit, das Geweih vom Schädel abzutrennen, um das genaue Gewicht zu bestimmen oder um Proben für chemische Analysen oder mikroskopische Untersuchungen zu

gewinnen. Zudem ist die benötigte Zeit zur Berechnung der Ergebnisse des DXA-Scanners mit wenigen Minuten deutlich kürzer als die Gewinnung mikroskopischer Schnitte und deren mikroskopische Auswertung, die Verbrennung im Muffelofen zur Ermittlung des Aschegehalts oder chemische Analyseverfahren. Als nachteilig zu betrachten ist jedoch, dass die DXA-Analysen im Vergleich zu chemischen Verfahren keine Rückschlüsse auf die Verteilung der Hauptknochenminerale Ca und P zulassen (Scholz et al. 2004), auch das Vorkommen anderer Mineralien wie sie Cappelli et al. (2020) ermittelten, ist nicht möglich. Zudem ist die Beurteilung histologischer (Brockstedt-Rasmussen et al. 1987) oder struktureller Veränderungen wie eine Verdickung der Kortikalis (Cappelli et al. 2020) nicht möglich.

Vorteilhaft gegenüber anderen radiologischen Methoden sind bei der DXA weiterhin die geringe Strahlenbelastung, beispielsweise im Vergleich zur Computertomographie, sowie die zügige und einfache Durchführbarkeit der Untersuchung. Die kurze Untersuchungszeit sowie die technisch einfache Bedienung waren dem Versuch zuträglich, so konnten Trophäen mehrerer Reviere problemlos an einem Scantag untersucht werden.

Die interessierenden Regionen wurden so gewählt, dass zunächst die Daten für das gesamte Geweih (ROI [1]) bestimmt werden konnten. Durch das zweidimensionale Bild entstanden jedoch Überlagerungen durch die einzelnen Sprossen der Geweihe, die Verzweigungen aufweisen (siehe Abb. 51). Somit könnten Überlagerungsartefakte für die Knochenmineraldichte BMD bei verzweigten Geweihen entstehen, die zu einer Überschätzung der Knochenmineraldichte führen können. So kann ein relativ schwaches Geweih trotz relativ niedriger Knochenmineraldichte Überlagerungen von Vorder- und Hintersprosse mit der Stange aufweisen. Dann werden Knochenminerale der Sprossen und der Stange auf gemeinsame Bildpunkte des DXA-Bildes projiziert und so eine höhere Knochenmineraldichte pro Flächeneinheit des Bildes geschätzt (siehe Abb. 51). Das könnte ursächlich für die fehlende Signifikanz des Einflusses der Revierklassen (Modell A und B) auf BMD_p_k sein. Gleichzeitig lässt sich das niedrigste Bestimmtheitsmaß von BMD_p_k zur Körpermasse (aufgebrochen) dadurch teilweise erklären.



Abbildung 51: Mögliche Überlagerungen durch Vorder- und Hinterspore beim DXA-Geweihscan (im Bild rot markiert)

Eine Möglichkeit, die Überlagerungen für den DXA-Scan zu vermeiden, könnte in der Abtrennung der Stangen vom Schädel und die Messung der Stangen von lateral liegen. So könnten die Stangen nebeneinanderliegend mit von der Scanrichtung aus betrachtet seitlich liegenden Sprossen gescannt werden. Ein Abtrennen der Stangen vom Schädel kam für diese Studie jedoch nicht infrage.

Für diese Studie wurde eine andere Vorgehensweise gewählt. Neben dem Messbereich des gesamten Geweihs (ROI [1]) wurden zwei weitere interessierende Regionen definiert, bei denen keine Überlagerung durch Sprossen möglich ist und bei denen BMD und BMC der Stange vergleichend ermittelt werden konnten. Dafür wurden bei beiden Stangen je eine 0,5 cm x 0,5 cm große Region an der Stangenbasis direkt oberhalb der Rose und mittig in der Stange gewählt (rechts ROI [2], links ROI [3]) (siehe Abb. 19). Die Breite wurde deshalb mit 0,5 cm definiert, da einige Geweihe an der Stangenbasis einen nur knapp über 0,5 cm großen Durchmesser hatten: So konnten die Messbereiche für alle Geweihe gleich gewählt werden, um eine gute Vergleichbarkeit zu gewährleisten.

Durch die definierte Breite von 0,5 cm könnten allerdings bei Geweihen großen und kleinen Durchmessers unterschiedliche Anteile der Kortikalis in den Messbereich einbezogen werden (siehe Abb. 52). Gerade schwache Jährlingsgeweihe zeigten teilweise nur einen geringfügig größeren Durchmesser als 0,5 cm. Somit würde die von der Scanrichtung betrachtet seitliche Kortikalis in den Messbereich mit einbezogen und der Messbereich würde relativ betrachtet einen höheren Kortikalisanteil aufweisen. Bei stärkeren Geweihen wird dagegen von der Scanrichtung aus betrachtet nur die vor und hinter der Spongiosa liegende

Kortikalis in den Messbereich mit einbezogen. Folglich könnten mit der gewählten Methodik bei Geweihen dünnen Durchmessers die Knochenmineraldichte der Messbereiche der Stangenbasen überschätzt bzw. bei starken Geweihen unterschätzt werden (siehe Abb. 52).

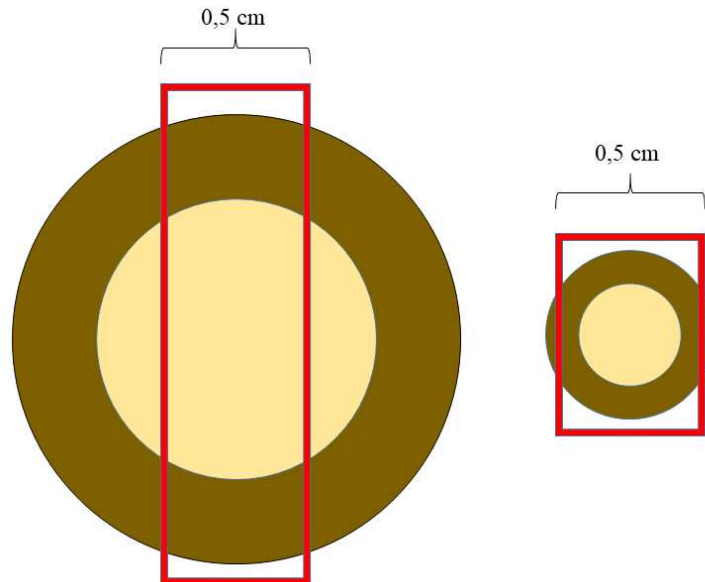


Abbildung 52: Vergleich des gemessenen Geweihquerschnitts zwischen Geweihen mit großem und kleinem Durchmesser

dunkelbraun = Kortikalis; hellbraun = Spongiosa; rot umrandet = Geweihgewebe innerhalb des Messbereichs

Trotz der genannten Einschränkungen zeigten die Ergebnisse der Messbereiche der Stangenbasen (BMD_p_r, BMC_p_r, BMD_p_l und BMC_p_l, BMD_p_m, BMC_p_m) für drei der vier untersuchten Einflüsse Signifikanz, die Alters- und Revierklasse in Modell A (siehe Tab. 5 und 6) sowie das Vorhandensein von Bast in Modell B (siehe Tab. 7). Für die Ergebnisse des Gesamtgeweihs (BMD_p_k und BMC_p_k) dagegen waren nur je zwei Einflüsse signifikant. Für BMD_p_k waren diese die Altersklasse in Modell A (siehe Tab. 5) und das Vorhandensein von Bast in Modell B (siehe Tab. 7), für BMC_p_k waren diese die Altersklasse und die Revierklasse im Modell A (siehe Tab. 5 und 6). Die Einschränkungen durch die möglicherweise unterschiedlichen Kortikalisanteile innerhalb der Messbereiche der Stangenbasen sind somit als eher gering zu betrachten, was verdeutlicht, dass die Messregionen sinnvoll gewählt wurden.

Für folgende Studien könnte erwogen werden, die Messbereiche der Stangenbasen mit definierter Höhe an die Breite der Geweihe anzupassen, um die gesamte Kortikalis des definierten Geweihabschnitts in den Messbereich einzubeziehen. So

könnten mögliche Unterschätzungen der Knochenmineraldichte bei Geweihen mit großem Durchmesser ausgeschlossen werden.

Im Vergleich zu den DXA-Untersuchungen an Rothirschgeweihen von Landete-Castillejos et al. (2010) wurde in dieser Arbeit ein anderer Ansatz gewählt. Wie bereits beschrieben wurde innerhalb der Untersuchungen von Landete-Castillejos et al. (2010) 1 cm dicke Scheiben von vier definierten Geweihlokalisationen herausgesägt und mittels DXA gescannt. Der Vorteil dieser Vorgehensweise ist, dass durch die definierte Dicke der Scheiben durch die Ermittlung der Fläche (ROI) die Knochenmineraldichte eines bestimmaren Volumens errechnet werden kann. Dies ist bei der Methodik dieser Studie nicht möglich, da Stangen unterschiedlichen Querschnitts untersucht wurden und die Knochenmineralsichte pro cm^2 des Ergebnisbildes des DXA-Scans ermittelt wurde. Somit könnte ein Geweih, dass einen größeren Stangendurchmesser aber eine geringere Knochenmineraldichte pro cm^3 als ein anderes Geweih hat, durchaus einen höheren BMD pro cm^2 aufweisen. Das liegt daran, dass die gesamte Knochenmineralmasse eines Bildpunktes des zweidimensionalen Bildes zusammenprojiziert wird und keine Information über die Dicke des gemessenen Knochengewebes im Bereich dieses Bildpunktes vorliegt. Die Ergebnisse von Landete-Castillejos et al. (2010) zeigen jedoch eine Verbindung zwischen schlechter Nahrungsverfügbarkeit und einer verringerten Knochenmineraldichte pro Volumen. Es ist somit wahrscheinlich, dass die Ergebnisse dieser Arbeit sowohl durch eine Volumenzunahme des Geweihs als auch durch eine Zunahme der Volumenmineraldichte zu erklären sind. Da aber davon auszugehen ist, dass schwache Böcke eher ein kleineres (Vanpé et al. 2007) und damit wohl auch ein Geweih kleineren Querschnitts schieben, ist diese Fehlerquelle als eher gering einzustufen.

Insgesamt bietet die DXA eine sehr gute Untersuchungsmethode für Rehweweih. Die Geweihmineralisierung und damit die Geweihqualität können in kurzer Zeit ohne Beschädigung der Trophäe bestimmt werden.

2.1.3. BMD und BMC des Geweihs als Merkmale der individuellen Kondition

Mittels DXA lässt sich anhand von BMD und BMC die Qualität und die Festigkeit von Knochen bewerten (Ryan 1997). Fraglich ist, ob mit einer erhöhten Knochenmineraldichte auch eine Steigerung der mechanischen Qualität einhergeht. Denn der in Relation zu anderen knöchernen Geweben geringe

Knochenmineralgehalt von Geweihen dient der mechanischen Funktion (Currey 1999; Currey 2002). Trotzdem beschrieben bereits Landete-Castillejos et al. (2010) eine Erhöhung der Knochenmineraldichte von Geweihen bei guten Wachstumsbedingungen der Tiere und auch die Ergebnisse dieser Studie bestätigen dies. Ein mögliches Szenario bei optimalen Bedingungen ist die Annäherung an ein Optimum der Knochenmineraldichte, welche die bestmögliche mechanische Qualität garantiert. Ein anderes Szenario wäre, dass die Knochenmineraldichte bei optimalen Wachstumsbedingungen irgendwann so zunimmt, dass die mechanischen Eigenschaften sich verschlechtern. Wie hoch dabei die Knochenmineraldichte steigen kann, ohne die mechanische Qualität zu mindern, ist nicht bekannt. Hier bedarf es weiterer Studien.

Die Ergebnisse der Regressionsanalysen zeigen, dass eine relativ hohe Beziehung zwischen einer hohen Körpermasse und hohen Werten für BMD und BMC aller Messbereiche besteht. Für BMC_p_k ist das Bestimmtheitsmaß mit $R^2 = 0,4916$ am höchsten (siehe Abb. 46), für BMD_p_k mit $R^2 = 0,2826$ am niedrigsten (siehe Abb. 45). Die niedrigeren Werte des Bestimmtheitsmaßes für die Regression zwischen BMD_p_k und Körpermasse lassen sich vor allem durch die beschriebenen Überlagerungsfehler durch die Sprossen teilweise erklären.

Die Ergebnisse der Regressionsanalysen für die Beziehungen zwischen Körpermasse und DXA-Messwerten (siehe Abb. 45 - 48) bestätigen die bereits erwähnten Beobachtungen von Gómez et al. (2006) und Vanpé et al. (2007) in der Hinsicht, dass eine hohe Körpermasse zu einem verbesserten Geweihwachstum führt. Es kann jedoch insofern erweitert und präzisiert werden, dass bei hohem Körpergewicht auch die Knochenmineralisierung im Speziellen in Form von BMD und BMC mit der Körpermasse steigt. Folglich kann aus hohen Werten für BMD und BMC des Geweihs indirekt auf eine hohe Körpermasse geschlossen werden.

Da die Körpermasse ein eindeutiges Merkmal der individuellen Verfassung ist (Hewison et al. 1996; Gaillard et al. 1997; Pettorelli et al. 2002; Kjellander et al. 2006; Toïgo et al. 2006), können dementsprechend auch die Ergebnisse der DXA-Geweihanalyse einer Bewertung der individuellen Kondition und der Wachstumsbedingungen der Tiere dienen.

Die Ergebnisse der DXA-Analyse lassen durch die Bestimmung der Geweihqualität Einschätzungen der körperlichen Kondition und der Wachstumsbedingungen des Rehbocks zu. Durch die große Abhängigkeit des Wachstums von hochwertigen Nahrungsressourcen können mit der Geweihanalyse auch die

Ressourcenverfügbarkeit und Nahrungsqualität des Lebensraumes bewertet werden.

Der besondere Vorteil der DXA-Analyse des Geweihs liegt außerdem darin, dass auch wichtige Informationen über die ontogenetische Qualität von Tieren erhoben werden können, von denen abgesehen von der Trophäe keine Informationen vorliegen. Die Ergebnisse von Trophäen verschiedener Jagdjahre könnten verglichen werden, um mögliche Verbesserungen oder Verschlechterungen der Lebensumstände für Rehwild im Revier zu erfassen oder Auswirkungen von Revierv Veränderungen auf die Wachstumsmöglichkeiten zu ermitteln.

Die DXA-Analyse von Geweihen bietet viele Vorteile und eine hohe Aussagekraft und ist somit für viele Anwendungen geeignet. Insgesamt scheint im Besonderen die Verwendung der Messbereiche der Stangenbasen sowie die Bestimmung der BMC des Gesamtgeweihs für die Geweihbewertung am sinnvollsten. Die Bestimmung der BMD für das Gesamtgeweih scheint aufgrund des Überlagerungsfehlers weniger sinnvoll.

2.2. Versuch 2 - Ganzkörperscan

2.2.1. Verwendung von DXA zur Ermittlung der Körpermasse

Im Rahmen dieser Arbeit wurden das erste Mal Körper erlegter und ausgeweideter Rehe (in der Decke und mit Haupt) mittels DXA untersucht. Die Genauigkeit für die Messung der Zusammensetzung und Körpermasse von Rehkörpern und in vivo mittels DXA wurde an verschiedenen Tierarten bestätigt (Scholz et al. 2002; Scholz et al. 2013). Alle Vorteile, die in Kapitel V.2.1 für den Geweih-Scan beschrieben wurden, gelten auch für den Ganzkörperscan mittels DXA. Vor allem die Verwertbarkeit des Rehkörpers als Lebensmittel trotz der Untersuchung sind ein großer Vorteil. Die Verbringung des Rehkörpers aus dem Kühlhaus für Versuch 2 verursachte durch den kurzen Zeitaufwand nur eine sehr kurze (< 15 Minuten) Unterbrechung der Kühlkette. Die Ergebnisse der Ganzkörperscans können Grundlage für weitere Studien sein. Die DXA-Analyse lässt durch ihre hohe Messgeschwindigkeit viele Messungen zu, ohne dass das Wildbret Gefahr läuft verzehrungsfähig zu werden. In folgenden Studien wäre der Vergleich von Ganzkörperscans verschiedener Reviere möglich, um eventuelle Einflüsse von Lebensraumparametern auf die Körperzusammensetzung zu untersuchen.

3. Ergebnisse

3.1. Versuch 1

In dieser Studie konnten BMD und BMC für Geweihe mittels DXA ermittelt werden. Zunächst ist zu begründen, warum die Knochenmineraldichte des Gesamtgeweihs (ROI [1]) in allen Ergebnissen kleiner ist als die der Messbereiche der Stangenbasen. Erstens nimmt der Durchmesser der Stangen Richtung apikal ab. Somit ist mit einem abnehmenden Knochenmineralgehalt und auch einer geringeren Knochenmineraldichte pro Bildpunkt im Bereich der Stangenspitzen zu rechnen. Zweitens umfassen die Messbereiche der Stangenbasen nur zentrale Bereiche der Stangen. Die Bereiche mit abnehmender Geweihdicke am Rand des ellipsoiden Querschnitts werden in diesen Messbereichen nicht mit eingefasst. Diese sind jedoch in der Messung des Gesamtgeweihs (ROI [1]) mit inbegriffen. Diese Begründungen erklären die niedrigeren Ergebnisse für BMD_p_k im Vergleich zu BMD_p_m, BMD_p_r und BMD_p_l.

Für den Knochenmineralgehalt ergibt sich ein anderes Bild. Diese ist für das Gesamtgeweih (ROI [1]) verständlicherweise deutlich größer als für die 0,25 cm² großen Ausschnitte der Stangenbasen (ROI [2] und ROI [3]).

3.1.1. Einfluss der Altersklasse

Es wurden signifikante Einflüsse der Altersklasse auf die Ergebnisse der DXA-Scans gefunden. Mit höherer Altersklasse nimmt die Knochenmineraldichte aller Messbereiche zu (siehe Tab. 9). Dabei zeigen die Ergebnisse, dass der Einfluss der Altersklasse den der Revierklasse übersteigt. Die Schätzwerte der DXA-Messwerte stiegen prozentual von Altersklasse 1 zu Altersklasse 2 stark an (BMD_p_k um 22,6 %, BMC_p_k um 168,3 %, BMD_p_m um 18,2 % und BMC_p_m um 18,3 %). Der prozentuale Anstieg von Altersklasse 2 zu Altersklasse 3 fällt geringgradig niedriger aus (BMD_p_k um 13,6 %, BMC_p_k um 53,2 %, BMD_p_m um 11,1 % und BMC_p_m um 11,1 %). Der größte prozentuale Unterschied besteht zwischen den Werten von Altersklasse 1 und Altersklasse 3 (BMD_p_k um 33,3 %, BMC_p_k um 310,6 %, BMD_p_m um 31,3 % und BMC_p_m um 31,6 %). Die prozentualen Unterschiede zwischen den Altersklassen sind deutlich größer als die zwischen den Revierklassen (siehe Kap. IV. 1.1.2.), sodass davon auszugehen ist, dass der Einfluss der Altersklasse auf das Geweih größer ist als der des Waldanteils des Lebensraums.

Die Ergebnisse decken sich insoweit mit denen von Vanpé et al. (2007) und Wajdzik et al. (2016), die eine Zunahme der Geweihqualität in Form von Gewicht und Größe mit zunehmendem Alter beschreiben. Die geringere Knochenqualität des Geweihs in Form von BMD und BMC für jüngere Böcke lässt sich anhand mehrerer Faktoren begründen. Zunächst ist beschrieben, dass Böcke erst im dritten Lebensjahr ausgewachsen sind (Hewison et al. 1996) und es ist nicht zu erwarten, dass ein sexuelles Geschlechtsmerkmal wie das Geweih bei einem noch nicht ausgewachsenen Tier in besonderer Qualität wächst. Mit wachsender Körpermasse waren höhere Werte für den Knochenmineralgehalt des Gesamtgeweihs zu erwarten, wenn mit dem Alter das Gewicht des Geweihs steigt (Vanpé et al. 2007). Nach Hewison et al. (1998) verteidigen Böcke erst ab einem Alter von drei Jahren Territorien. Vorher nehmen sie auch nur selten an der Fortpflanzung teil (Sempere et al. 1996). Somit erfüllt das Geweih bis zu diesem Zeitpunkt keine Funktion für den Bock, weder als Abschreckung oder Waffe gegen andere Böcke, noch als sekundäres Geschlechtsmerkmal zur Signalisierung hoher genetischer Qualität und eines guten Ernährungszustandes an mögliche Paarungspartner (Vanpé et al. 2007; Vanpé et al. 2010). Wenn ein kostspieliges Attribut wie das Geweih (Vanpé et al. 2007) keine Funktion erfüllt, ist nicht davon auszugehen, dass Böcke zu diesem Zeitpunkt viel in dieses investieren.

Des Weiteren ist davon auszugehen, dass jüngere Böcke insgesamt einen geringeren Zugang zu hochqualitativen Nahrungsressourcen haben. Nach Sempere et al. (1996) werden junge aterritoriale Böcke besonders aggressiv von territorialen Tieren aus den Revieren vertrieben (Siehe Abb. 53). Die Territorialität tritt besonders während Frühjahr und Sommer auf, in denen das Reh als Konzentratsselektierer besonders auf hochwertige Nahrung angewiesen ist (Heinze et al. 2011).



Abbildung 53: Territorialstreit im „Bockrevier“ - Februar 2014, Oberlausitz; © A.M. Scholz

Außerdem besetzen und verteidigen starke Böcke vor allem Territorien mit hochwertigen Nahrungsressourcen (Sempere et al. 1996). Bei geringerer Nahrungsqualität wird auch die Investition in das Geweih und damit dessen Qualität verringert (Cappelli et al. 2020).

Eine mögliche Abnahme der Geweihqualität im Senessenzstadium ab sieben Lebensjahren (Vanpé et al. 2007) konnte aufgrund der Einteilung der Altersklassen nicht untersucht werden. Theoretisch könnten die Werte der Altersklasse 3 im Rahmen dieser Studie unterschätzt worden sein, wenn sich viele Geweihe von Böcken aus dem Senessenzstadium in der Altersklasse 3 befinden würden. Insgesamt wurde jedoch nur ein einziges Geweih von insgesamt 155 auf sechs Jahre geschätzt. Die Unterschätzung der Werte für die Altersklasse 3 ist also trotz der nicht eindeutig möglichen Altersschätzung von Geweihen über 2 Jahren als unwahrscheinlich anzusehen.

3.1.2. Einfluss des Waldanteils

Mehrere Studien haben belegt, dass Lebensraumbedingungen wie Nahrungsqualität (Cappelli et al. 2020) und die Populationsdichte (Vanpé et al. 2007) und mit diesen Parametern zusammenhängend auch der Waldanteil (Wajdzik et al. 2016; Czyżowski et al. 2018) einen signifikanten Einfluss auf das Geweihwachstum haben.

Neben dem Waldanteil können auch andere Umweltfaktoren, wie die Anwesenheit

von Rehwildprädatoren (z.B. Wolf und Luchs) einen Einfluss auf die Konstitution von Rehböcken und die Rehpopulationen insgesamt haben (Ballard et al. 2001; Mattioli et al. 2004; Heurich et al. 2012; Osborn und McConnel M. D. 2016; Gulsby et al. 2018), diese konnten in der vorliegenden Studie nicht berücksichtigt werden.

3.1.2.1. Ergebnisse Modell A

Mit dem Modell A wurde der Einfluss der Revierklasse und damit des Waldanteils auf die Geweihe aller Altersklassen untersucht. Dabei fanden sich bei allen Merkmalen bis auf BMD_p_k signifikante Effekte. Die fehlende Signifikanz für BMD_p_k ist am ehesten durch die bereits erwähnte, hypothetische Überschätzung der Werte verzweigter Geweihe durch Überlagerungsfehler zu erklären. Die Schätzwerte der anderen Merkmale nahmen prozentual am stärksten von den Waldrevieren zu den Feldrevieren zu (BMC_p_k um 18,5 %, BMD_p_m 8,2 % und BMC_p_m 8,2 %, BMD_p_k). Der zweitgrößte prozentuale Unterschied wurde zwischen den Wald- und Mischrevieren beobachtet (BMC_p_k 10,8 %, BMD_p_m 5,5 % und BMC_p_m 5,6 %). Die niedrigste prozentuale Differenz fand sich zwischen den Misch- und Feldrevieren (BMC_p_k 7,9 %, BMD_p_m 2,5 % und BMC_p_m 2,4 %).

Die Ergebnisse decken sich mit denen von Wajdzik et al. (2016) und Czyżowski et al. (2018), die bei höherem Waldanteil eine geringere Geweihmasse und -größe beobachtet hatten. Die Resultate dieser Studie zeigen, dass dies auch mit niedrigerer Knochenmineraldichte und -gehalt im DXA-Scan einhergeht.

Trotz der vielen Vorteile, die ein Wald für Rehe beinhaltet, bestätigen die Ergebnisse dieser Studie, dass Lebensräume mit sehr hohem Waldanteil keine optimalen Wachstumsbedingungen für die Tiere bieten. Die Differenz von den Waldrevieren zu den anderen Revierklassen war deutlich höher als die zwischen den Feld- und Mischrevieren. Das könnte ein Zeichen dafür sein, dass sich die Nahrungs- und Wachstumsbedingungen in Lebensräumen für Rehe erst ab einem sehr hohen Waldanteil von über 80 % stark verschlechtern.

Dies ist vor allem durch die schlechtere Verfügbarkeit hochenergetischer Nahrung in der Frühjahrsperiode zu erklären (Heinze et al. 2011; Pettorelli et al. 2003), auf die Rehe als Konzentratsselektierer und im Besonderen als Ertragszüchter angewiesen sind. Die besondere Bedeutung des Wachstums im ersten Frühjahr der Kitze (Duncan et al. 1998; Andersen et al. 2000), welche in Revieren mit hohem Anteil an Ackerflächen und Wiesen bessere Voraussetzungen haben, scheint durch

die Vorteile der besseren Verfügbarkeit von Winternahrung in Gebieten hohen Waldanteils nicht ausgeglichen werden zu können.

Der Vorteil des Waldes relativiert sich insofern, dass die Tiere in der Jahreszeit, in denen ein hoher Waldanteil einen Vorteil bezüglich der Nahrungsverfügbarkeit bietet, aterritorial in Sprüngen leben (Ellenberg 1978). Die Sprünge suchen gemeinsam Gebiete mit Winterfutter auf. Somit haben die Tiere, deren Aktionsräume auch im Sommer Waldgebiete beinhalten, keinen Vorteil gegenüber den Tieren, die im Frühjahr und Sommer vorwiegend auf Ackerflächen und Wiesen leben und im Winter genauso von der Winternahrung des Waldes profitieren. In Feldrevieren können außerdem Hecken und Sträucher, deren Vorkommen in dieser Studie nicht ermittelt wurde, teilweise die Funktionen des Waldes in Hinblick auf Deckung und Winterfutter kompensieren, wie Morellet et al. (2011) bereits beschrieben.

Es kann bestätigt werden, dass die Ressourcenverfügbarkeit einen direkten Einfluss auf das Geweih hat (Gómez et al. 2006; Vanpé et al. 2007) und auch sein Knochenmineralgehalt und -dichte beeinflusst. Hier gelten die oben genannten Einschränkungen durch das zweidimensionale Scanergebnis. Cappelli et al. (2020) beschreiben, dass Böcke mit einer schlechteren Nahrungsqualität zwar deutlich kleinere und leichterere Geweihe schieben, dass dies jedoch durch eine dickere Kortikalis ausgeglichen wird. Zudem fanden die Autoren keinen unterschiedlichen Aschegehalt bei Tieren guter und schlechter Nahrungsqualität. Dies würde mit den Ergebnissen dieser Studie insoweit übereinstimmen, wenn vor allem das Geweihvolumen und die Gesamtmineralmasse bei ähnlich bleibender Volumenmineraldichte mit verbesserter Nahrungsverfügbarkeit steigen. Dem widersprechen die Ergebnisse von Landete-Castillejos et al. (2010), die sehr wohl eine Verbindung zwischen schlechter Nahrungsverfügbarkeit und einer verringerten Knochenmineraldichte auf eine definierte Probendicke bei Rotwildgeweihen mittels DXA beobachteten. Es ist somit wahrscheinlich, dass die Ergebnisse dieser Arbeit sowohl durch eine Volumenzunahme des Geweihs als auch durch eine Zunahme der Volumenmineralisierung zu erklären sind. Dies abschließend klären zu können, müsste eine destruktive DXA-Untersuchung nach der Methodik von Landete-Castillejos et al. (2010) an Rehgeweihen durchgeführt werden.

3.1.2.2. Ergebnisse Modell B (nur Jährlingsgeweihe)

Die Ergebnisse für Modell B unterscheiden sich insofern von denen von Modell A, dass keine signifikanten Einflüsse der Revierklasse gefunden werden konnten. Die fehlende Signifikanz für Modell B kann verschieden begründet werden. Zunächst kann dies an der deutlich geringeren Zahl an gemessenen Geweihen (71 im Vergleich zu 155) liegen. Es wurde bereits beschrieben, dass Tiere, die weder ausgewachsen sind noch an der Fortpflanzung teilnehmen oder Reviere verteidigen, keinen funktionellen Bedarf für ein gut ausgeprägtes Geweih haben. Folglich werden starke Jährlinge nicht ihrem Ernährungszustand entsprechend eine hohe Investition in das Geweih zeigen, wie dies ältere Böcke nach den Ergebnissen aus Modell A tun. Zwar sind junge Tiere besonders empfindlich gegenüber Veränderungen der Ressourcenverfügbarkeit (Pettorelli et al. 2003), trotzdem zeigen die Ergebnisse, dass das Geweihwachstum dies nur in geringem Umfang widerspiegelt.

Neben der fehlenden Signifikanz zeigen die Ergebnisse für die Revierklassen bei den Jährlingen einen weiteren großen Unterschied im Vergleich zu den Geweihen aller Altersklassen (Modell A). Zwischen den Klassen der Misch- und Waldreviere fanden sich für BMD aller interessierenden Regionen und BMC_p_m kaum Differenzen. Im Gegensatz zu den Ergebnissen von Modell A fanden sich für BMC_p_k der Jährlingsgeweihe der Waldreviere deutlich höhere Werte (siehe Abb. 33), auch wenn diese Differenz nicht signifikant war (siehe Tab. 9). Eine Parallele zu Modell A ist darin zu sehen, dass die Feldreviere verglichen mit den beiden anderen Revierklassen die tendenziell höchsten Werte aufwiesen.

Einerseits lassen sich diese Ergebnisse dadurch erklären, dass Jungtiere deutlich sensibler auf Veränderungen der Verfügbarkeit von Ressourcen reagieren (Pettorelli et al. 2003) und somit schon in den Revieren mittleren Waldanteils deutliche Wachstumseinbußen zeigen können. Möglicherweise sind diese Ergebnisse eine Folge des territorialen Verhaltens der älteren Böcke. Je höher der Waldanteil in einem Gebiet ist, desto kleiner ist der Anteil von Flächen wie Feldern und Wiesen, die eine höhere Ressourcenverfügbarkeit bieten. Durch die Abnahme solcher hochattraktiver Flächen sollte die Konkurrenz darum, diese als Territorium zu besetzen, zwischen den Böcken steigen. Es ist zu erwarten, dass dann vor allem stärkere und ältere Böcke diese Territorien besetzen und von der hohen Ressourcenqualität profitieren können. Diese vertreiben, wie bereits beschrieben, junge aterritoriale Böcke besonders aggressiv aus den Territorien (Sempere et al.

1996).

Die für BMC_{p_k} von den Tendenzen der anderen Merkmale abweichenden Ergebnisse in Form von im Vergleich zu den Mischrevieren höheren Werten für die Geweihe aus Waldrevieren (siehe Abb. 33), lassen sich möglicherweise durch die nicht ganz optimale Verteilung der Revierklassen (siehe Abb. 15) und einen großen Anteil des Reviers aus dem Werdauer Wald an den Jährlingsgeweihen der Revierklasse Wald erklären. Gegebenenfalls spielen hier andere Umweltfaktoren eine Rolle, die die des Waldanteils überwiegen und die in dieser Studie nicht berücksichtigt wurden.

Die Ergebnisse dieser Studie insgesamt legen nahe, dass Jährlinge selbst bei einem Waldanteil von nur 20 % nicht oder nur sehr gering von den 80 % nicht bewaldeten Flächen mit höherer Nahrungsqualität profitieren können. Da das Wachstum des ersten Lebensjahres einen wichtigen Einfluss auf die individuelle Konstitution für die gesamte Lebensspanne hat (Pettorelli et al. 2002; Gaillard et al. 1993b; Duncan et al. 1998; Andersen et al. 2000), sprechen die Ergebnisse dafür, dass Rehe bei einem Waldanteil über 20 % des Lebensraumes nicht oder nur erschwert in der Lage sind, ihr Wachstumspotential voll auszuschöpfen.

Weitere Studien im Hinblick auf wichtige Parameter des Lebensraums wie Waldart, Waldfragmentierung und Ackerfrüchte der landwirtschaftlichen Flächen aber auch einer kleinstufigeren Aufteilung der Revierklassen bezüglich des Waldanteils sind zur Differenzierung und Präzisierung dieser Beobachtung nötig.

3.1.3. Einfluss des Vorhandenseins von Bast

Bis auf den Knochenmineralgehalt des kompletten Geweihs BMC_{p_k} waren gefegte Geweihe durchweg durch signifikant höhere Werte für BMD und BMC gekennzeichnet (BMD_{p_k} um 31,7 %, BMC_{p_k} 71,3 %, BMD_{p_m} 22,7 %, BMC_{p_m} um 23,1 %). Dies deckt sich mit den Ergebnissen von (Brockstedt-Rasmussen et al. 1987), die eine erhöhte Porosität während der Kolbenzeit beobachteten. Allerdings können die Ergebnisse dieser Studie keine Informationen zum Verlauf der Mineralisierung während der Kolbenzeit geben. In welchem Wachstumsstadium sich Bastgeweihe erlegter Böcke befunden haben, konnte in dieser Arbeit nicht ermittelt werden. Es ist davon auszugehen, dass auch Bastgeweihe älterer Böcke deutlich niedrigere BMD und BMC aufweisen als gefegte Geweihe derselben Altersklasse, jedoch sind auch hierfür weitere Untersuchungen nötig.

3.2. Versuch 2

Die Ergebnisse der Bestimmung der Körpermasse mit Werten zwischen 9,7 und 19,0 kg und einem Mittelwert von $15,4 \pm 3,0$ kg decken sich mit den Ergebnissen von Stubbe (2008) und Sempere et al. (1996). Weiterhin stimmen die Ergebnisse in sehr hohem Maße mit den von Jägern bestimmten Körpermassen überein, was darauf schließen lässt, dass es sich bei den Ergebnissen des Versuchs um eine relativ repräsentative Stichprobe handelt.

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass die Körpermasse nach Erreichen des Höhepunkts im fünften Lebensjahr wieder abnimmt. Bis zu einem Alter von 2 Jahren steigt die Körpermasse steil an, was sich mit den Beobachtungen von Hewison et al. (1996) deckt. Ab dem zweiten Lebensjahr steigt sie weniger steil bis zu ihrem Höchststand im fünften Lebensjahr. Unter Einbeziehung der von den Jägern übermittelten Körpermassen (siehe Abb. 38) flacht die Steigung der Körpermasse jedoch erst ab dem vierten Lebensjahr ab. Die erzielten Ergebnisse sprechen dafür, dass Böcke ihr Maximalgewicht erst im fünften Lebensjahr und nicht schon im dritten (Hewison et al. 1996) oder im vierten (Ellenberg 1978) Lebensjahr erreichen. Die Ergebnisse zeugen zudem davon, dass das von Vanpé et al. (2007) beschriebene Seneszenzstadium auch in einer abnehmenden Körpermasse deutlich wird. Die jahreszeitlichen Schwankungen (Holand und Staaland 1992; Hewison et al. 1996) konnten in dieser Studie nicht berücksichtigt werden, da die Körpermassen abgesehen von Fallwild nur in der Jagdsaison bestimmt werden konnten. Die Ergebnisse können insofern eingeschränkt werden, dass besonders für ältere Altersstufen nur sehr wenige Daten vorlagen. Weitere Untersuchungen mit höherer Tierzahl sind nötig, um die gemachten Beobachtungen zu bestätigen.

VI. ZUSAMMENFASSUNG

Ziel dieser Studie war es zu evaluieren, inwieweit die Geweihanalyse mittels Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie (DXA) eine geeignete Methode darstellt, um die individuelle Kondition eines Rehbocks zu bestimmen. Darüber hinaus sollte untersucht werden, ob und in welchem Umfang das Alter, das Vorliegen von Bast und der Waldanteil des Lebensraumes einen messbaren Effekt auf die Knochenmineraldichte und -gehalt des Rehwiehes haben.

Dazu wurden 155 Geweihe aus elf deutschen Revieren einer DXA-Analyse unterzogen und die Knochenmineraldichte (BMD) und der Knochenmineralgehalt (BMC) des Gesamtgeweihs und zweier definierter Regionen an den Stangenbasen bestimmt. Für die Untersuchung wurde ein GE Lunar iDXA Scanner verwendet. Die Daten wurden anschließend mithilfe der Software SAS 9.3 mit Mischmodell-Varianzanalysen unter Verwendung der REML-Schätzmethode ausgewertet. Für ein erstes Mischmodell (Modell A) wurden die Einflüsse der Effekte der Altersklassen (Altersklasse 1 = Jährlinge, Altersklasse 2 = Zweijährige, Altersklasse 3 = älter als 2 Jahre) und der Revierklassen (Feldreviere = Waldanteil < 20 %, Mischreviere = Waldanteil zwischen 20 - 80 %, Waldreviere = Waldanteil > 80 %) auf die DXA-Ergebnisse der 155 Geweihe ermittelt. Für das zweite Modell (Modell B) wurden ausschließlich die Daten der 71 Jährlingsgeweihe verwendet und die Einflüsse der Effekte des Vorhandenseins von Bast und der Revierklasse (s.o.) untersucht. Außerdem wurde für 13 Böcke, die direkt nach dem Erlegen als ausgeweidete Wildkörper in der Decke mit Haupt vorlagen, eine DXA-Ganzkörperanalyse durchgeführt.

Sowohl das Alter als auch der Waldanteil des Reviers hatten signifikante ($p < 0,05$) Einflüsse auf Knochenmineraldichte und -gehalt der Geweihe im Modell A. Dabei zeigten Böcke mit steigendem Alter deutlich höhere Werte für BMD und BMC, die die Werte der Jährlinge zum Teil um mehr als das Dreifache überstiegen.

Geweihe aus Revieren hohen Waldanteils hatten signifikant niedrigere Werte für BMD und BMC. Für Jährlingsgeweihe fanden sich dagegen keine signifikanten Einflüsse des Waldanteils, tendenziell zeigten zwar die Geweihe aus den Revieren mit weniger als 20 % Waldanteil die höchsten Werte, zwischen den Geweihen aus den anderen Revierklassen (Misch- und Waldreviere) zeigten sich jedoch nur minimale Unterschiede. Insgesamt lassen die Ergebnisse darauf schließen, dass Jährlinge bereits ab einem Waldanteil von über 20 % keine optimalen

Wachstumsvoraussetzungen mehr vorfinden. Dies wird vermutlich vorwiegend durch ein niedrigeres Ressourcenangebot in Waldgebieten verursacht. Rehe als Konzentratsselektierer und Ertragszüchter sind in besonderer Weise von einem ausreichenden Angebot energiereicher Nahrungsquellen abhängig. Es konnte gezeigt werden, dass ein niedrigeres Angebot hochenergetischer Ressourcen einen direkten Einfluss auf das Geweihwachstum hat.

Ältere Böcke zeigten erst ab einem Waldanteil von über 80 % starke Wachstumsrückgänge. Dies könnte einerseits auf die geringere Empfindlichkeit gegenüber Ressourcenveränderungen älterer Tiere zurückzuführen sein. Andererseits ist es wahrscheinlich, dass besonders die territoriale Lebensweise der Böcke während der wichtigen Wachstumsphase im Frühjahr und Sommer für diese Beobachtungen verantwortlich sind, welche den jüngeren und schwächeren Tieren den Zugang zu Ressourcen erschwert.

Weiterhin konnte gezeigt werden, dass das Alter und das Vorhandensein von Bast die Knochenmineraldichte und -menge signifikant beeinflussen. Den größten Einfluss hatte insgesamt das Alter auf die gemessenen Werte. Dies ist vor allem damit begründbar, dass Böcke erst ab einem Alter von drei Jahren an der Fortpflanzung und den Kämpfen um Territorien teilnehmen. Es bestanden ferner enge Beziehungen zwischen hohen Knochenmineraldichten und -gehalten und hohen Körpermassen (nach dem Ausweiden in der Decke mit Haupt). Dies lässt darauf schließen, dass mithilfe der Ergebnisse der DXA-Geweihscans Einschätzungen der individuellen Leistung von Rehböcken möglich sind.

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen außerdem, dass die DXA-Untersuchung von Rehgeweihen ermöglicht, hochwertige Informationen über die körperliche Kondition von Rehböcken zu gewinnen. Die Knochenmineralisierung lässt sich mittels DXA schnell und verlässlich ermitteln und bietet gegenüber anderen Methoden der Geweihbewertung neben vielen weiteren den herausragenden Vorteil, das Geweih und damit die Trophäe nicht beschädigen zu müssen. Es können in kurzer Zeit nicht nur die Fitness von einzelnen Tieren, sondern die ganzer Populationen im Hinblick auf Wachstumsmöglichkeiten und Ressourcenverfügbarkeit bewertet werden. Dies kann beispielsweise in der Wald- und Wildbewirtschaftung Anwendung finden, um Auswirkungen von Umweltveränderungen oder Umstrukturierungen von Wäldern und Landschaften auf Rehwild und alle weiteren Cerviden zu ermitteln. Außerdem könnten Auswirkungen von Umweltveränderungen wie dem Klimawandel auf die Wachstumsbedingungen der Tiere bestimmt werden.

VII. SUMMARY

The aim of this study was to evaluate the extent to which antler analysis by dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) is a suitable method to determine the individual condition of a roe deer buck. In addition, we aimed to investigate whether and to what extent age, the presence of velvet, and the proportion of forest in the habitat have a measurable effect on bone mineral density and bone mineral content of roe deer antlers.

For this purpose, 155 antlers from eleven German hunting grounds were subjected to DXA analysis and bone mineral density (BMD) and bone mineral content (BMC) of the total antler and two defined regions at antler bases were determined. A GE Lunar iDXA scanner was used for the analysis. Data were then analyzed using SAS 9.3 software with mixed model analyses of variance using the REML estimation method. For a first mixed model (Model A), the influences of effects age classes (age class 1 = yearlings, age class 2 = two-year-olds, age class 3 = older than 2 years) and precinct class (field precincts = forest percentage < 20%, mixed precincts = forest percentage between 20-80%, forest precincts = forest percentage > 80%) on the DXA results of the 155 antlers were determined. For the second model (Model B), only the data from the 71 yearling antlers were used and the influences of the effects of the presence of velvet and precinct class (see above) were examined. In addition, whole-body DXA analysis was conducted for 13 roe deer bucks that were present as eviscerated roe deer carcasses unskinned with head immediately after killing.

Both age and forest proportion of the hunting ground had significant ($p < 0.05$) influences on bone mineral density and content of antlers in model A. Here, bucks showed significantly higher values for BMD and BMC with increasing age, in some cases exceeding the values of yearlings by more than threefold.

Antlers from hunting grounds with a high proportion of forest had significantly lower values for BMD and BMC. In contrast, no significant influences of forest proportion were found for yearling antlers; although antlers from hunting grounds with less than 20% forest proportion tended to show the highest values. There were only minimal differences between antlers from the other classes of hunting grounds (mixed and forest hunting grounds). Overall, the results suggest that yearlings no longer find optimal growth conditions already from a forest share of more than 20%. This is probably predominantly caused by a lower resource supply in forested

areas. Roe deer as concentrate selectors and income breeders are particularly dependent on a sufficient supply of energy-rich food sources. It has been shown that a lower supply of high-energy resources has a direct effect on antler growth. Older bucks did not show strong growth declines until forest cover exceeded 80%. On the one hand, this could be due to the lower sensitivity to resource changes of older animals. On the other hand, it is likely that especially the territorial lifestyle of bucks during the important growth period during spring and summer are responsible for these observations, which makes it more difficult for younger and weaker animals to access resources.

Furthermore, age and the presence of velvet were shown to significantly influence bone mineral density and quantity. Overall, age had the greatest influence on the measured values. This can be explained mainly by the fact that bucks do not participate in reproduction and fighting for territories until they are three years old. There were also close relationships between high bone mineral density and bone mineral content and a high body mass (after evisceration in unskinned with head). This suggests that by using the results of DXA antler scans, estimates of individual buck performance are possible.

The results of this study also show that DXA examination of roe deer antlers allows high-quality information to be obtained on the physical condition of roe deer bucks. Bone mineralization can be determined quickly and reliably using DXA and, compared to other methods of antler evaluation, offers the outstanding advantage, among many others, of not having to damage the antlers and thus the trophy. In a short time, not only the fitness of individual animals, but also that of entire populations can be evaluated with regard to growth potential and resource availability. This may have applications in forest and wildlife management, for example, to determine effects of environmental changes or restructuring of forests and landscapes on roe deer and all other cervids. In addition, effects of environmental changes such as climate change on wildlife growing conditions could be determined.

VIII. ANHANG

Tabelle 11: Varianzanalysen für den Effekt der Altersklasse (Jährling, älter als ein Jahr) auf die einzelnen Merkmale des Gesamtkörperscans für Modell C nach F-Test

Merkmal	Num DF	Den DF	F-Wert	Pr > F
Fettanteil (%)	2	11	816,40	< 0,0001
Fettgehalt (g)	2	11	316,76	< 0,0001
Magerweichgewebe (g)	2	11	760,66	< 0,0001
BMD_gk (g/cm ²)	2	11	698,24	< 0,0001
BMC_gk (g)	2	11	506,12	< 0,0001

Num DF = Freiheitsgrade im Zähler der F-Verteilung; Den DF = Freiheitsgrade im Nenner der F-Verteilung; BMD_gk = Knochenmineraldichte der ROI [1] des Ganzkörperscans; BMC_gk = Knochenmineralgehalt der ROI [1] des Ganzkörperscans

Tabelle 12: Einfluss der Altersklasse auf den prozentualen Fettanteil des DXA-Gesamtkörperscans für das Modell C nach t-Test

Altersklasse	Schätzwert (%)	Standardfehler	Buchstabengruppe*
1	6,1833	0,2373	A
2	6,7875	0,2197	A

*Altersklasse 1 = Jährlinge; Altersklasse 2 = älter als ein Jahr; *unterschiedliche Buchstaben bei Signifikanz ($p < 0,05$) nach t-Test*

Tabelle 13: Einfluss der Altersklasse auf den Fettgehalt des DXA-Gesamtkörperscans für das Modell C

Altersklasse	Schätzwert (g)	Standardfehler	Buchstabengruppe*
1	741,83	57,2446	B
2	1143,57	52,9982	A

*Altersklasse 1 = Jährlinge; Altersklasse 2 = älter als ein Jahr; *unterschiedliche Buchstaben bei Signifikanz ($p < 0,05$) nach t-Test*

Tabelle 14: Einfluss der Altersklasse auf den Magerweichgewebegehalt des DXA-Gesamtkörperscans für das Modell C

Altersklasse	Schätzwert (g)	Standardfehler	Buchstabengruppe*
1	11240	521,26	B
2	15685	482,59	A

*Altersklasse 1 = Jährlinge; Altersklasse 2 = älter als ein Jahr; *unterschiedliche Buchstaben bei Signifikanz ($p < 0,05$) nach t-Test*

Tabelle 15: Einfluss der Altersklasse auf die Knochenmineraldichte BMD_gk des DXA-Gesamtkörperscans für das Modell C

Altersklasse	Schätzwert (g/cm ²)	Standardfehler	Buchstabengruppe*
1	0,7263	0,03600	A
2	0,8199	0,03333	A

*Altersklasse 1 = Jährlinge; Altersklasse 2 = älter als ein Jahr; *unterschiedliche Buchstaben bei Signifikanz ($p < 0,05$) nach t-Test*

Tabelle 16: Einfluss der Altersklasse auf den Knochenmineralgehalt BMC_gk des DXA-Gesamtkörperscans für das Modell C

Altersklasse	Schätzwert (g)	Standardfehler	Buchstabengruppe*
1	677,62	31,8253	B
2	904,87	29,4645	A

*Altersklasse 1 = Jährlinge; Altersklasse 2 = älter als ein Jahr; *unterschiedliche Buchstaben bei Signifikanz ($p < 0,05$) nach t-Test*

IX. LITERATURVERZEICHNIS

- Abbas, Frial; Morellet, Nicolas; Hewison, A. J. Mark; Merlet, Joël; Cargnelutti, Bruno; Lourtet, Bruno et al. (2011): Landscape fragmentation generates spatial variation of diet composition and quality in a generalist herbivore. In: *Oecologia* 167 (2), S. 401–411. DOI: 10.1007/s00442-011-1994-0.
- Aitken, R. J. (1974): Delayed implantation in roe deer (*Capreolus capreolus*). In: *Journal of reproduction and fertility* 39 (1), S. 225–233. DOI: 10.1530/jrf.0.0390225.
- Aitken, R. J. (1981): Aspects of delayed implantation in the roe deer (*Capreolus capreolus*). In: *Journal of reproduction and fertility. Supplement* 29, S. 83–95.
- Andersen, Reidar; Duncan, Patrick; Linnell, John D.C. (Hg.) (1998): The European roe deer. The biology of success. Oslo: Scandinavian University Press.
- Andersen, Reidar; Gaillard, Jean-Michel; Linnell, John D. C.; Duncan, Patrick (2000): Factors affecting maternal care in an income breeder, the European roe deer. In: *J Anim Ecology* 69 (4), S. 672–682. DOI: 10.1046/j.1365-2656.2000.00425.x.
- Andrén, Henrik; Liberg, Olof (2015): Large impact of Eurasian lynx predation on roe deer population dynamics. In: *PloS one* 10 (3), e0120570. DOI: 10.1371/journal.pone.0120570.
- Apollonio, Marco; Merli, Enrico; Chirichella, Roberta; Pokorny, Boštjan; Alagić, Ajša; Flajšman, Katarina; Stephens, Philip A. (2020): Capital-Income Breeding in Male Ungulates: Causes and Consequences of Strategy Differences Among Species. In: *Front. Ecol. Evol.* 8. DOI: 10.3389/fevo.2020.521767.
- Aragon, S.; Braza, F.; Jose, C. S.; Fandos, P. (1998): Variation in Skull Morphology of Roe Deer (*Capreolus capreolus*) in Western and Central Europe. In: *Journal of Mammalogy* 79 (1), S. 131–140. DOI: 10.2307/1382847.
- Bala, Y.; Farlay, D.; Boivin, G. (2013): Bone mineralization: from tissue to crystal in normal and pathological contexts. In: *Osteoporosis international: a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA* 24 (8), S. 2153–2166. DOI: 10.1007/s00198-012-2228-y.
- Ballard, W. B.; Lutz, D.; Keegan, T. W.; Carpenter, L. H.; Devos, J. C. (2001): Deer-predator relationships: A review of recent North American studies with

- emphasis on mule and black-tailed deer. In: *Wildlife Society Bulletin* 29 (1), S. 99–115.
- Barth, D.; Giménez, T.; Hoffmann, B.; Karg, H. (1976): Testosteronkonzentrationen im peripheren Blut beim Rehbock (*Capreolus capreolus*). In: *Eur J Wildl Res* 22 (3), S. 134–148. DOI: 10.1007/BF01906783.
- Beck, T. (2003): Measuring the structural strength of bones with dual-energy X-ray absorptiometry: principles, technical limitations, and future possibilities. In: *Osteoporosis international: a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA* 14 Suppl 5, S81-8. DOI: 10.1007/s00198-003-1478-0.
- Berryman, Alan A.; Hawkins, Bradford A. (2006): The refuge as an integrating concept in ecology and evolution. In: *Oikos* 115 (1), S. 192–196. DOI: 10.1111/j.0030-1299.2006.15188.x.
- Bjørå, R.; Falch, J.A.; Staaland, H.; Nordsletten, L.; Gjengedal, E. (2001): Osteoporosis in the Norwegian moose. In: *Bone* 29 (1), S. 70–73. DOI: 10.1016/S8756-3282(01)00469-0.
- Blake, G. M.; Fogelman, I. (1997): Technical principles of dual energy x-ray absorptiometry. In: *Seminars in nuclear medicine* 27 (3), S. 210–228.
- Brockstedt-Rasmussen, H.; Sørensen, P.Leth; Ewald, H.; Melsen, F. (1987): The rhythmic relation between antler and bone porosity in Danish deer. In: *Bone* 8 (1), S. 19–22. DOI: 10.1016/8756-3282(87)90127-X.
- Bubenik, George A.; Bubenik, Anthony B. (Hg.) (1990): Horns, Pronghorns, and Antlers. Evolution, Morphology, Physiology, and Social Significance. New York, NY: Springer New York.
- Burbaitė, L.; Csányi, S. (2009): Roe deer population and harvest changes in Europe. In: *Estonian J. Ecol.* 58 (3), S. 169. DOI: 10.3176/eco.2009.3.02.
- Buzan, Elena; Gerič, Urška; Potušek, Sandra; Flajšman, Katarina; Pokorny, Boštjan (2020): First Insights into the Population Genetic Structure and Heterozygosity–Fitness Relationship in Roe Deer Inhabiting the Area between the Alps and Dinaric Mountains. In: *Animals* 10 (12), S. 2276. DOI: 10.3390/ani10122276.
- Cappelli, J.; Ceacero, F.; Landete-Castillejos, T.; Gallego, L.; García, A. (2020): Smaller does not mean worse: variation of roe deer antlers from two distant populations in their mechanical and structural properties and mineral profile. In: *J*

- Zool* 14, S. 58. DOI: 10.1111/jzo.12764.
- Ceacero, Francisco (2016): Long or Heavy? Physiological Constraints in the Evolution of Antlers. In: *J Mammal Evol* 23 (2), S. 209–216. DOI: 10.1007/s10914-015-9310-0.
- Chase, Jonathan (2014): Will roe deer persist in a warmer world? In: *PLoS biology* 12 (4), e1001829. DOI: 10.1371/journal.pbio.1001829.
- Cibien, Catherine; Bideau, Eric; Boisaubert, Bernard; Maublanc, Marie Line (1989): Influence of habitat characteristics on winter social organisation in field roe deer. In: *Acta Theriol* 34, S. 219–226. DOI: 10.4098/AT.arch.89-23.
- Clutton-Brock, Timothy Hugh (1982): The Functions of Antlers in: Behaviour Band79 Ausgabe2-4 (1982). In: *Behaviour* (Band79 Ausgabe2-4), S. 108–124. Online verfügbar unter https://brill.com/abstract/journals/beh/79/2-4/article-p108_2.xml?rskey=5cX6vv&result=1, zuletzt geprüft am 28.05.2019.
- Crabtree, N. J.; Leonard, M. B. (2007): Dual-Energy X-Ray Absorptiometry. In: Aenor J. Sawyer, Laura K. Bachrach und Ellen B. Fung (Hg.): *Bone Densitometry in Growing Patients*. Totowa, NJ: Humana Press, S. 41–57.
- Currey, J. D. (1999): The design of mineralised hard tissues for their mechanical functions. In: *The Journal of experimental biology* 202 (Pt 23), S. 3285–3294.
- Currey, J. D.; Landete-Castillejos, T.; Estevez, J.; Ceacero, F.; Olguin, A.; Garcia, A.; Gallego, L. (2009): The mechanical properties of red deer antler bone when used in fighting. In: *The Journal of experimental biology* 212 (Pt 24), S. 3985–3993. DOI: 10.1242/jeb.032292.
- Currey, John D. (2002): *Bones. Structure and mechanics*. Princeton, New Jersey, Oxfordshire, England: Princeton University Press.
- Czyżowski, Piotr; Drozd, Leszek; Karpiński, Mirosław; Tajchman, Katarzyna; Goleman, Małgorzata; Wojtaś, Justyna; Zieliński, Damian (2018): Impact of environmental diversity of hunting complexes in the Lublin region on ontogenetic quality indicators in roe deer (*Capreolus capreolus*). In: *Biologia* 73 (2), S. 185–189. DOI: 10.2478/s11756-018-0025-6.
- Davis, Edward Byrd; Brakora, Katherine A.; Lee, Andrew H. (2011): Evolution of ruminant headgear: a review. In: *Proceedings. Biological sciences* 278 (1720), S. 2857–2865. DOI: 10.1098/rspb.2011.0938.
- Deutscher Jagdverband e.V. (2020): Deutscher Jagdverband. Online verfügbar unter <https://www.jagdverband.de>.
- Dove, W. Franklin (1935): The physiology of horn growth: A study of the

- morphogenesis, the interaction of tissues, and the evolutionary processes of a mendelian recessive character by means of transplantation of tissues. In: *J. Exp. Zool.* 69 (3), S. 347–405. DOI: 10.1002/jez.1400690302.
- Duncan, P.; Tixier, H.; Hofmann, R. R.; Lechner-Doll, M. (1998): Feeding strategies and the physiology of digestion in roe deer. In: Reidar Andersen, Patrick Duncan und John D.C. Linnell (Hg.): *The European roe deer. The biology of success*. Oslo: Scandinavian University Press, S. 91–116.
- Ellenberg, Hermann (1978): *Zur Populationsökonomie des Rehes (Capreolus capreolus L., Cervidae) in Mitteleuropa*. TU München, München. Institut für Landschaftsökologie. Online verfügbar unter https://www.zobodat.at/pdf/SpixSupp_002_0001-0211.pdf, zuletzt geprüft am 20.10.2020.
- Estevez, J. A.; Landete-Castillejos, T.; García, A. J.; Ceacero, F.; Gallego, L. (2008): Population management and bone structural effects in composition and radio-opacity of Iberian red deer (*Cervus elaphus hispanicus*) antlers. In: *Eur J Wildl Res* 54 (2), S. 215–223. DOI: 10.1007/s10344-007-0132-0.
- Estevez, Jose A.; Landete-Castillejos, Tomás; Martínez, Alberto; García, Andrés J.; Ceacero, Francisco; Gaspar-López, Enrique et al. (2009): Antler mineral composition of Iberian red deer *Cervus elaphus hispanicus* is related to mineral profile of diet. In: *Acta Theriol* 54 (3), S. 235–242. DOI: 10.4098/j.at.0001-7051.070.2008.
- Evans, Roger M. (1990): The relationship between parental input and investment. In: *Animal Behaviour* 39 (4), S. 797–798. DOI: 10.1016/S0003-3472(05)80391-4.
- Falinski, J. B. (1986): *Vegetation Dynamics in Temperate Lowland Primeval Forests*. Ecological Studies in Białowieża Forest. Dordrecht: Springer Netherlands.
- Ferretti, F.; Sforzi, A.; Lovari, S. (2008): Intolerance amongst deer species at feeding: roe deer are uneasy banqueters. In: *Behavioural processes* 78 (3), S. 487–491. DOI: 10.1016/j.beproc.2008.02.008.
- Focardi, Stefano; Pelliccioni, Elisabetta; Petrucco, Roberta; Toso, Silvano (2002): Spatial patterns and density dependence in the dynamics of a roe deer (*Capreolus capreolus*) population in central Italy. In: *Oecologia* 130 (3), S. 411–419. DOI: 10.1007/s00442-001-0825-0.
- Gaillard, J. M.; Delorme, D.; Jullien, J. M. (1993a): Effects of cohort, sex, and birth date on body development of roe deer (*Capreolus capreolus*) fawns. In:

- Oecologia* 94 (1), S. 57–61. DOI: 10.1007/BF00317301.
- Gaillard, Jean-Michel; Boutin, Jean-Marie; Delorme, Daniel; van Laere, Guy; Duncan, Patrick; Lebreton, Jean-Dominique (1997): Early survival in roe deer: causes and consequences of cohort variation in two contrasted populations. In: *Oecologia* 112 (4), S. 502–513. DOI: 10.1007/s004420050338.
- Gaillard, Jean-Michel; Delorme, Daniel; Boutin, Jean-Marie; van Laere, Guy; Boisaubert, Bernard; van Laere, Roger Pradel (1993b): Roe Deer Survival Patterns: A Comparative Analysis of Contrasting Populations. In: *J Anim Ecology* 62 (4), S. 778. DOI: 10.2307/5396.
- Gaillard, Jean-Michel; Hewison, A. J. Mark; Klein, François; Plard, Floriane; Douhard, Mathieu; Davison, Raziel; Bonenfant, Christophe (2013): How does climate change influence demographic processes of widespread species? Lessons from the comparative analysis of contrasted populations of roe deer. In: *Ecology letters* 16 Suppl 1, S. 48–57. DOI: 10.1111/ele.12059.
- GE Healthcare (Hg.): Lunar enCORE-basiertes Knochen-Densitometer-Röntgensystem –Benutzerhandbuch. Auflage 5 - Teilenummer: LU43616DE 2010.
- Geist, Valerius (1998): Deer of the world. Their evolution, behaviour, and ecology. 1st ed. Mechanicsburg, Pa.: Stackpole Books.
- Gill, R.M.A.; Johnson, A. L.; Francis, A.; Hiscocks, K.; Peace, A. J. (1996): Changes in roe deer (*Capreolus capreolus* L.) population density in response to forest habitat succession. In: *Forest Ecology and Management* 88 (1-2), S. 31–41. DOI: 10.1016/S0378-1127(96)03807-8.
- Gomez, S.; Garcia, A. J.; Luna, S.; Kierdorf, U.; Kierdorf, H.; Gallego, L.; Landete-Castillejos, T. (2013): Labeling studies on cortical bone formation in the antlers of red deer (*Cervus elaphus*). In: *Bone* 52 (1), S. 506–515. DOI: 10.1016/j.bone.2012.09.015.
- Gómez, José Ángel; Landete-Castillejos, Tomás; García, Andrés José; Gallego, Laureano (2006): Importance of growth during lactation on body size and antler development in the Iberian red deer (*Cervus elaphus hispanicus*). In: *Livestock Science* 105 (1-3), S. 27–34. DOI: 10.1016/j.livsci.2006.04.028.
- Gordon, Iain J.; Illius, Andrew W. (1994): The functional significance of the browser-grazer dichotomy in African ruminants. In: *Oecologia* 98 (2), S. 167–175. DOI: 10.1007/BF00341469.
- Goss, R. J. (1983): Deer Antlers. Regeneration, Function and Evolution. New

York: Academic Press.

Grunes, D. L.; Welch, R. M. (1989): Plant contents of magnesium, calcium and potassium in relation to ruminant nutrition. In: *Journal of animal science* 67 (12), S. 3485–3494. DOI: 10.2527/jas1989.67123485x.

Gulsby, William D.; Cherry, Michael J.; Johnson, James T.; Conner, L. Mike; Miller, Karl V. (2018): Behavioral response of white-tailed deer to coyote predation risk. In: *Ecosphere* 9 (3), e02141. DOI: 10.1002/ecs2.2141.

Hansson, Lennart (1994): Vertebrate distributions relative to clear-cut edges in a boreal forest landscape. In: *Landscape Ecol* 9, S. 105–115. DOI: 10.1007/BF00124377.

Hartwig, H.; Schrudde, J. (1974): Experimentelle Untersuchungen zur Bildung der primären Stirnauswüchse beim Reh (*Capreolus capreolus* L.). In: *Eur J Wildl Res* 20 (1), S. 1–13. DOI: 10.1007/BF01901843.

Heinze, Eric; Boch, Steffen; Fischer, Markus; Hessenmöller, Dominik; Klenk, Bernd; Müller, Jörg et al. (2011): Habitat use of large ungulates in northeastern Germany in relation to forest management. In: *Forest Ecology and Management* 261 (2), S. 288–296. DOI: 10.1016/j.foreco.2010.10.022.

Heurich, Marco; Möst, Lisa; Schauburger, Gunther; Reulen, Holger; Sustr, Pavel; Hothorn, Torsten (2012): Survival and causes of death of European Roe Deer before and after Eurasian Lynx reintroduction in the Bavarian Forest National Park. In: *Eur J Wildl Res* 58 (3), S. 567–578. DOI: 10.1007/s10344-011-0606-y.

Hewison, A. J. M.; Angibault, J. M.; Bideau, E.; Vincent, J. P.; Boutin, J.; Sempéré, A. (1996): Annual variation in body composition of roe deer (*Capreolus capreolus*) in moderate environmental conditions. In: *Can. J. Zool.* 74 (2), S. 245–253. DOI: 10.1139/z96-031.

Hewison, A. J. M.; Danilkin, A. (2001): Evidence for separate specific Status of European (*Capreolus capreolus*) and Siberian (*C. pygargus*) roe deer. In: *Mammalian Biology* 66, S. 13–21.

Hewison, A. MarkJ.; Morellet, Nicolas; Verheyden, Helene; Daufresne, Tanguy; Angibault, Jean-Marc; Cargnelutti, Bruno et al. (2009): Landscape fragmentation influences winter body mass of roe deer. In: *Ecography* 32 (6), S. 1062–1070. DOI: 10.1111/j.1600-0587.2009.05888.x.

Hewison, A.J.M.; Vincent, J. P.; Reby, D. (1998): Social organisation of European roe deer. In: Reidar Andersen, Patrick Duncan und John D.C. Linnell (Hg.): *The European roe deer. The biology of success*. Oslo: Scandinavian

University Press, S. 189–219.

Hofmann, R. R. (1989): Evolutionary steps of ecophysiological adaptation and diversification of ruminants: a comparative view of their digestive system. In: *Oecologia* 78 (4), S. 443–457. DOI: 10.1007/BF00378733.

Holand, Øystein (1992): Seasonal variation in body composition of European roe deer. In: *Can. J. Zool.* 70 (3), S. 502–504. DOI: 10.1139/z92-075.

Holand, Øystein; Staaland, Hans (1992): Nutritional Strategies and Winter Survival of European Roe Deer in Norway. In: Robert D. Brown (Hg.): *The Biology of Deer*, Bd. 65. New York, NY: Springer New York, S. 423–428.

Hummel, J.; Südekum, K. H.; Streich, W. J. & Clauss, M. (2006): Forage fermentation patterns and their implications for herbivore ingesta retention times. In: *Funct Ecology* 20 (6), S. 989–1002. DOI: 10.1111/j.1365-2435.2006.01206.x.

Iwasa, Yoh; Pomiankowski, Andrew; Nee, Sean (1991): The Evolution of Costly Mate Preferences II. The 'Handicap' Principle. In: *Evolution* 45 (6), S. 1431. DOI: 10.2307/2409890.

Janiszewski, Paweł; Daszkiewicz, Tomasz; Hanzal, Vladimir (2009): Effect of environmental factors and time of shooting on carcass weight of European roe deer (*Capreolus capreolus* L.). In: *Forest Research Papers* 70 (2), S. 123–130. DOI: 10.2478/v10111-009-0012-3.

Jepsen, J. U.; Topping, C. J. (2004): Modelling roe deer (*Capreolus capreolus*) in a gradient of forest fragmentation: behavioural plasticity and choice of cover. In: *Can. J. Zool.* 82 (9), S. 1528–1541. DOI: 10.1139/z04-131.

Jönsson, K. Ingemar; Jonsson, K. Ingemar (1997): Capital and Income Breeding as Alternative Tactics of Resource Use in Reproduction. In: *Oikos* 78 (1), S. 57. DOI: 10.2307/3545800.

Kamler, J.; Dvořák, J.; Kamlerová, K. (2003): Differences in Relative Volume and Weight of Forestomachs Among Four Free Living Ruminants. In: *Acta Vet. Brno* 72 (1), S. 33–39. DOI: 10.2754/avb200372010033.

Kierdorf, H.; Kierdorf, U.; Szuwart, T.; Gath, U.; Clemen, G. (1994): Light microscopic observations on the ossification process in the early developing pedicle of fallow deer (*Dama dama*). In: *Annals of Anatomy - Anatomischer Anzeiger* 176 (3), S. 243–249. DOI: 10.1016/S0940-9602(11)80485-1.

Kierdorf, U.; Kierdorf, H. (2002): Pedicle and first antler formation in deer: Anatomical, histological, and developmental aspects. In: *Eur J Wildl Res* 48 (1), S. 22–34. DOI: 10.1007/BF02285354.

- Kierdorf, Uwe; Flohr, Stefan; Gomez, Santiago; Landete-Castillejos, Tomas; Kierdorf, Horst (2013): The structure of pedicle and hard antler bone in the European roe deer (*Capreolus capreolus*): a light microscope and backscattered electron imaging study. In: *Journal of anatomy* 223 (4), S. 364–384. DOI: 10.1111/joa.12091.
- Kierdorf, Uwe; Kierdorf, Horst (2011): Deer antlers - a model of mammalian appendage regeneration: an extensive review. In: *Gerontology* 57 (1), S. 53–65. DOI: 10.1159/000300565.
- Kjellander, Petter (2000): Density dependence in roe deer population dynamics. Uppsala: Swedish University of Agricultural Sciences (Acta Universitatis Agriculturae Sueciae Silvestria, 154).
- Kjellander, Petter; Gaillard, Jean-Michel; Hewison, A. J. Mark (2006): Density-dependent responses of fawn cohort body mass in two contrasting roe deer populations. In: *Oecologia* 146 (4), S. 521–530. DOI: 10.1007/s00442-005-0188-z.
- Krauss, Stefanie; Wagermaier, Wolfgang; Estevez, José A.; Currey, John D.; Fratzl, Peter (2011): Tubular frameworks guiding orderly bone formation in the antler of the red deer (*Cervus elaphus*). In: *Journal of Structural Biology* 175 (3), S. 457–464. DOI: 10.1016/j.jsb.2011.06.005.
- Kurt, Fred; Hartl, Günther B.; Völk, Friedrich (1993): Breeding strategies and genetic variation in European roe deer *Capreolus capreolus* populations. In: *Acta Theriol* 38, S. 187–194. DOI: 10.4098/AT.ARCH.93-52.
- Landete-Castillejos, T.; Currey, J. D.; Estevez, J. A.; Fierro, Y.; Calatayud, A.; Ceacero, F. et al. (2010): Do drastic weather effects on diet influence changes in chemical composition, mechanical properties and structure in deer antlers? In: *Bone* 47 (4), S. 815–825. DOI: 10.1016/j.bone.2010.07.021.
- Landete-Castillejos, T.; Estevez, J. A.; Martínez, A.; Ceacero, F.; Garcia, A.; Gallego, L. (2007a): Does chemical composition of antler bone reflect the physiological effort made to grow it? In: *Bone* 40 (4), S. 1095–1102. DOI: 10.1016/j.bone.2006.11.022.
- Landete-Castillejos, T.; Garcia, A.; Gallego, L. (2007b): Body weight, early growth and antler size influence antler bone mineral composition of Iberian Red Deer (*Cervus elaphus hispanicus*). In: *Bone* 40 (1), S. 230–235. DOI: 10.1016/j.bone.2006.07.009.
- Landete-Castillejos, T.; Kierdorf, H.; Gomez, S.; Luna, S.; García, A. J.; Cappelli,

- J. et al. (2019): Antlers - Evolution, development, structure, composition, and biomechanics of an outstanding type of bone. In: *Bone* 128, S. 115046. DOI: 10.1016/j.bone.2019.115046.
- Laskey, M. A.; Phil, D. (1996): Dual-energy X-ray absorptiometry and body composition. In: *Nutrition (Burbank, Los Angeles County, Calif.)* 12 (1), S. 45–51.
- Lehoczki, Róbert; Erdélyi, Károly; Sonkoly, Krisztina; Szemethy, László; Csányi, Sándor (2011): Iodine distribution in the environment as a limiting factor for roe deer antler development. In: *Biological trace element research* 139 (2), S. 168–176. DOI: 10.1007/s12011-010-8655-8.
- Li, Chunyi; Zhao, Haiping; Liu, Zhen; McMahon, Chris (2014): Deer antler -a novel model for studying organ regeneration in mammals. In: *The international journal of biochemistry & cell biology* 56, S. 111–122. DOI: 10.1016/j.biocel.2014.07.007.
- Linnell, John D.C.; Zachos, Frank E. (2011): Status and distribution patterns of European ungulates: genetics, population history and conservation. In: Marco Apollonio, Rory Putman und Reidar Andersen (Hg.): *Ungulate management in Europe. Problems and practices*. Cambridge: Cambridge University Press, S. 12–53.
- Lister, A. (1994): The evolution of the giant deer, *Megaloceros giganteus* (Blumenbach). In: *Zoological Journal of the Linnean Society* 112 (1-2), S. 65–100. DOI: 10.1006/zjls.1994.1034.
- Lovari, S.; San José, C. (1997): Wood dispersion affects home range size of female roe deer. In: *Behavioural processes* 40 (3), S. 239–241. DOI: 10.1016/s0376-6357(97)00019-3.
- Lovari, Sandro; Serrao, Giulia; Mori, Emiliano (2017): Woodland features determining home range size of roe deer. In: *Behavioural processes* 140, S. 115–120. DOI: 10.1016/j.beproc.2017.04.012.
- Mattioli, L.; Capitani, C.; Avanzinelli, E.; Bertelli, I.; Gazzola, A.; Apollonio, M. (2004): Predation by wolves (*Canis lupus*) on roe deer (*Capreolus capreolus*) in north-eastern Apennine, Italy. In: *J Zool* 264 (3), S. 249–258. DOI: 10.1017/S095283690400576X.
- Mitchell, A. D.; Scholz, A. M.; Pursel, V. G.; Evock-Clover, C. M. (1998): Composition analysis of pork carcasses by dual-energy x-ray absorptiometry. In: *Journal of animal science* 76 (8), S. 2104–2114. DOI: 10.2527/1998.7682104x.
- Morellet, Nicolas; van Moorter, Bram; Cargnelutti, Bruno; Angibault, Jean-Marc;

- Lourtet, Bruno; Merlet, Joël et al. (2011): Landscape composition influences roe deer habitat selection at both home range and landscape scales. In: *Landscape Ecol* 26 (7), S. 999–1010. DOI: 10.1007/s10980-011-9624-0.
- Mussa, P. P.; Aceto, P.; Abba, C.; Sterpone, L.; Meineri, G. (2003): Preliminary study on the feeding habits of roe deer (*Capreolus capreolus*) in the western Alps. In: *Journal of animal physiology and animal nutrition* 87 (3-4), S. 105–108.
- Mysterud, Atle; Østbye, Eivind (1999): Cover as a Habitat Element for Temperate Ungulates: Effects on Habitat Selection and Demography. In: *Wildlife Society Bulletin* 27 (2), S. 385–394.
- Osborn, D. A.; McConnel M. D. (2016): The Impact of Predators on Deer in the Southeast. University of Georgia, Athens, Georgia, USA. Warnell School of Forestry and Natural Resources.
- Panzacchi, Manuela (2007): The ecology of red fox predation on roe deer fawns with respect to population density, habitat and alternative prey.
- Pathak, N.N; Pattanaik, A.K; Patra, R.C; Arora, B.M (2001): Mineral composition of antlers of three deer species reared in captivity. In: *Small Ruminant Research* 42 (1), S. 61–65. DOI: 10.1016/S0921-4488(01)00218-8.
- Pételis, Kęstutis; Brazaitis, Gediminas (2003): Morphometric Data on the Field Ecotype Roe Deer in Southwest Lithuania. In: *Acta Zoologica Lituanica* 13 (1), S. 61–64. DOI: 10.1080/13921657.2003.10512544.
- Pettorelli, Nathalie; Dray, Stephane; Gaillard, Jean-Michel; Chessel, Daniel; Duncan, Patrick; Illius, Andrew et al. (2003): Spatial variation in springtime food resources influences the winter body mass of roe deer fawns. In: *Oecologia* 137 (3), S. 363–369. DOI: 10.1007/s00442-003-1364-7.
- Pettorelli, Nathalie; Gaillard, Jean-Michel; Duncan, Patrick; Ouellet, Jean-Pierre; van Laere, Guy (2001): Population density and small-scale variation in habitat quality affect phenotypic quality in roe deer. In: *Oecologia* 128 (3), S. 400–405. DOI: 10.1007/s004420100682.
- Pettorelli, Nathalie; Gaillard, Jean-Michel; van Laere, Guy; Duncan, Patrick; Kjellander, Petter; Liberg, Olof et al. (2002): Variations in adult body mass in roe deer: the effects of population density at birth and of habitat quality. In: *Proceedings. Biological sciences* 269 (1492), S. 747–753. DOI: 10.1098/rspb.2001.1791.
- Pietrobelli, A.; Formica, C.; Wang, Z.; Heymsfield, S. B. (1996): Dual-energy X-ray absorptiometry body composition model: review of physical concepts. In: *The*

- American journal of physiology* 271 (6 Pt 1), E941-51. DOI: 10.1152/ajpendo.1996.271.6.E941.
- Plard, Floriane; Gaillard, Jean-Michel; Coulson, Tim; Hewison, A. J. Mark; Delorme, Daniel; Warnant, Claude; Bonenfant, Christophe (2014): Mismatch between birth date and vegetation phenology slows the demography of roe deer. In: *PLoS biology* 12 (4), e1001828. DOI: 10.1371/journal.pbio.1001828.
- Portier, Christine; Duncan, Patrick; Gaillard, Jean-Michel; Guillon, Noël; Sempéré J. (2000): Growth of European roe deer: patterns and rates. In: *Acta Theriologica* 45 (1), S. 87–94.
- Price, J. S.; Allen, S.; Fauchaux, C.; Althnaian, T.; Mount, J. G. (2005): Deer antlers: a zoological curiosity or the key to understanding organ regeneration in mammals? In: *Journal of anatomy* 207 (5), S. 603–618. DOI: 10.1111/j.1469-7580.2005.00478.x.
- Richard, Emmanuelle; Gaillard, Jean-Michel; Saïd, Sonia; Hamann, Jean-Luc; Klein, François (2010): High red deer density depresses body mass of roe deer fawns. In: *Oecologia* 163 (1), S. 91–97. DOI: 10.1007/s00442-009-1538-z.
- Roblick, Uwe Johannes (2018): Fütterungsinduzierte Osteoporose bei Rehwild – Pathophysiologie, diagnostische Ansätze und Prävention. Abschlussarbeit. Universität für Bodenkultur Wien, Wien. Institut für Wildbiologie und Jagdwirtschaft (IWJ), Department für Integrative Biologie und Biodiversitätsforschung.
- Royo, Luis J.; Pajares, Gerardo; Alvarez, Isabel; Fernández, Iván; Goyache, Félix (2007): Genetic variability and differentiation in Spanish roe deer (*Capreolus capreolus*): A phylogeographic reassessment within the European framework. In: *Molecular phylogenetics and evolution* 42 (1), S. 47–61. DOI: 10.1016/j.ympev.2006.05.020.
- Ryan, P. J. (1997): Overview of role of BMD measurements in managing osteoporosis. In: *Seminars in nuclear medicine* 27 (3), S. 197–209. DOI: 10.1016/s0001-2998(97)80024-4.
- Santiago Moreno, J.; González Bulnes, A.; Gómez Brunet, A.; López Sebastián, A. (2001): Influencia medioambiental (fotoperíodo, nutrición) y control endocrino del desarrollo del cuerno/a en rumiantes de interés cinegético. In: *Investigación agraria. Producción y sanidad animales* 16 (1), S. 79–97.
- Scholz, A.; Soffner, E.; Littmann, W.; Peschke, W.; Förster, M. (2002): Genauigkeit der Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie (DXA) zur Ermittlung der

- Schlachtkörperzusammensetzung von Schweinehälften (kalt, 30 – 39 kg) anhand der EU-Referenzzерlegung. In: *Züchtungskunde* 74, S. 376–391.
- Scholz, A. M. (2002): In-vivo-Methoden zur Analyse von Muskelstoffwechsel und Körperzusammensetzung beim Schwein unter besonderer Berücksichtigung genetischer Einflüsse. Universitätsbibliothek der Ludwig-Maximilians-Universität München. DOI: 10.5282/ubm/epub.418.
- Scholz, A. M.; Bünger, L.; Kongsro, J.; Baulain, U.; Mitchell, A. D. (2015): Non-invasive methods for the determination of body and carcass composition in livestock: dual-energy X-ray absorptiometry, computed tomography, magnetic resonance imaging and ultrasound: invited review. In: *Animal: an international journal of animal bioscience* 9 (7), S. 1250–1264. DOI: 10.1017/S1751731115000336.
- Scholz, A. M.; Heller, P.; Waldmann, K.-H.; Wolf, P.; Kamphues, J.; Förster, M. (2004): Eignung der Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie zur Erfassung der Knochenmineralisierung von Ebern. In: *Züchtungskunde* 76 (2), S. 94–107.
- Scholz, A. M.; Kremer, P. V. Wenczel, R.; Pappenberger, E. (2013): Body/Carcass composition by imaging technologies. In: QMS, Ingliston, UK (Hg.): Farm Animal Imaging. Editors: Maltin, C.; Craigie, C.; Bünger, L. Dublin, S. 9–15.
- Sempere, Antoine J.; Sokolov, Vladimir E.; Danilkin, Aleksey A. (1996): *Capreolus capreolus*. In: *Mammalian Species* (538), S. 1. DOI: 10.2307/3504309.
- Stearns, Stephen C. (1992): The evolution of life histories. Reprint. Oxford, New York, Tokyo: Oxford University Press.
- Strandgaard, H. (1972): The Roe deer (*Capreolus capreolus*) population at Kalø and the factors regulating its size. In: *Danish review of game biology* 7 (1), S. 1–205. Online verfügbar unter <https://dce2.au.dk/pub/vbs/DRGB7.pdf>.
- Stubbe, Christoph (2008): Rehwild. Biologie, Ökologie, Hege und Jagd. 5. Aufl., Neuausg. Stuttgart: Franckh-Kosmos-Verl.
- The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2019-2. Online verfügbar unter <https://www.iucnredlist.org/species/42395/22161386>, zuletzt geprüft am 05.09.2019.
- Tixier, H.; Duncan, P. (1996): Are European roe deer browsers? A review of variations in the composition of their diets. In: *Revue d'Ecologie (Terre Vie)* 51, S. 3–17.
- Toïgo, Carole; Gaillard, Jean-Michel; van Laere, Guy; Hewison, Mark; Morellet,

- Nicolas (2006): How does environmental variation influence body mass, body size, and body condition? Roe deer as a case study. In: *Ecography* 29 (3), S. 301–308. DOI: 10.1111/j.2006.0906-7590.04394.x.
- Vanpé, Cécile; Gaillard, Jean-Michel; Kjellander, Petter; Liberg, Olof; Delorme, Daniel; Hewison, A. J. Mark (2010): Assessing the intensity of sexual selection on male body mass and antler length in roe deer *Capreolus capreolus*: is bigger better in a weakly dimorphic species? In: *Oikos* 119 (9), S. 1484–1492. DOI: 10.1111/j.1600-0706.2010.18312.x.
- Vanpé, Cécile; Gaillard, Jean-Michel; Kjellander, Petter; Mysterud, Atle; Magnien, Pauline; Delorme, Daniel et al. (2007): Antler size provides an honest signal of male phenotypic quality in roe deer. In: *The American naturalist* 169 (4), S. 481–493. DOI: 10.1086/512046.
- Wajdzik, M.; Konieczny, G.; Nasiadka, P.; Szyjka, K. (2016): Impact of forest cover and the soil type on the quality of male roe deer in the Kielce region. In: *Sylvan* 160 (5), S. 424–432. Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/publication/305267878_Impact_of_forest_cover_and_the_soil_type_on_the_quality_of_male_roe_deer_in_the_Kielce_region.
- Waldo, C. M.; Wislocki, G. B.; Fawcett, D. W. (1949): Observations on the blood supply of growing antlers. In: *The American journal of anatomy* 84 (1), S. 27–61. DOI: 10.1002/aja.1000840103.
- Wang, Yu; Zhang, Chenzhou; Wang, Nini; Li, Zhipeng; Heller, Rasmus; Liu, Rong et al. (2019): Genetic basis of ruminant headgear and rapid antler regeneration. In: *Science (New York, N.Y.)* 364 (6446). DOI: 10.1126/science.aav6335.
- Weiner, January (1973): Dressing Percentage, Gross Body Composition and Caloric Value of the Roe-Deer. In: *Acta Theriologica* 18 (11), S. 209–222.
- Wenczel, R. (2013): Untersuchungen zur Messung der Körperzusammensetzung und Knochenmineraldichte beim Schwein und beim Schaf mittels “Pencil-” und “Fan-Beam”-Dualenergie Röntgenabsorptiometrie.

X. DANKSAGUNG

Besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. Armin Scholz, ohne den diese Dissertation nicht möglich gewesen wäre. Danke für das interessante Thema, die Hilfe bei Besorgung von Geweihen und die Bereitstellung des erlegten Wilds. Danke für die hervorragende Betreuung.

Herzlichen Dank all den Jägern, die mir ihre Trophäen zur Verfügung gestellt haben, sowie der Mannschaft der Tierarztpraxis Gut Lichtenberg für die Ermöglichung flexibler Arbeitszeiten.

Danken möchte ich auch meiner Familie und Lisa für jegliche Unterstützung in allen Lebenslagen, für Querlesen, Korrekturen und für den Glauben, dass das schon wird.